



Universidad  
Carlos III de Madrid  
[www.uc3m.es](http://www.uc3m.es)

## TRABAJO FIN DE GRADO

**Título:** Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (12):  
Sistema de estimulación sensorial

**Autor:** Antonio Puente Sanz

**Titulación:** Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**Profesor:** Ricardo Vergaz Benito (Departamento de Tecnología Electrónica)

**Fecha:** 22 de junio de 2014



Universidad  
Carlos III de Madrid  
[www.uc3m.es](http://www.uc3m.es)

**Título:** Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (12): Sistema de estimulación sensorial

**Autor:** Antonio Puente Sanz

**Tutor:** Ricardo Vergaz Benito

**Codirector:**

### EL TRIBUNAL

**Presidente:** Antonio Lázaro Blanco

**Vocal:** Begoña Savoini Cardiel

**Secretario:** Fernando Martín Monar

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 9 de Julio de 2014 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de:

**VOCAL**

**SECRETARIO**

**PRESIDENTE**

# Agradecimientos

---

En primer lugar decir ¡al fin he terminado!, y nunca olvidaré estos dos últimos meses.

Agradezco en primer lugar a mis padres que son los que principalmente han sufrido durante estos últimos meses, además de haberme podido dar una educación buena y poder guiarme siempre por un buen camino y enseñarme a conseguir las cosas a base trabajo. También se lo agradezco a mis hermanos que me han ayudado siempre y más durante el proyecto, que les he tenido a mi disposición, para que me fuesen a comprar materiales a cualquier lugar. Sin olvidarme de mi familia

En segundo lugar a Ricardo Vergaz, por haber sido un buen profesor cuando recibí docencia suya y como buen tutor que ha sido, que siempre donde yo veía problemas, el buscaba soluciones.

A mis amigos/as, los de toda la vida, como de la universidad. Muy especialmente a Manuel, Mario y Juan Manuel.

A la empresa donde trabajó Dimelco, donde estoy empezando a crecer profesionalmente. Agradecerles que me hayan suministrado componentes o comprármelos, y aquí agradecerse a Carlos. También Nacho con el que he aprendido muchísimo y siempre ha sacado tiempo para explicarme cualquier duda. Y como no a Dani.

Y como no podía olvidarme de todos mis compañeros/as del “Laboratorio de Papá Noel”. En especial a Alba.

¡Gracias a todos!

# RESUMEN

---

El proyecto realizado, está diseñado para el uso y disfrute del Colegio de Educación Especial del Hospital San Rafael, que acoge a personas con graves dificultades motoras y cognitivas. El colegio colabora con el Grupo de Displays y Fotónicas de la Universidad Carlos III. Esta colaboración consiste en la realización de proyectos que ayuden a los alumnos del centro en su vida diaria.

Mediante este proyecto se pretende diseñar y fabricar, atendiendo al Diseño para Todos, un sistema de estimulación causa-efecto para alumnos con discapacidades cognitivas, entre otras, compuesto de un mando y 3 tubos, de color azul, amarillo y rojo. Los tubos están dotados de varios dispositivos eléctricos: el tubo azul y rojo poseen motores, ventiladores para mover elementos ligeros en el aire y tira de LEDS de iluminación, mientras que el tubo amarillo contiene motores y tiras de leds para realizar un efecto luminoso. El mando interactúa con los tubos a través de 3 pulsadores luminosos de colores, iguales que los tubos. Una vez que se pulsa un pulsador, el tubo de idéntico color se activa, accionando todos sus dispositivos eléctricos provocando estímulos táctiles (por vibración) y estímulos visuales. Cada tubo tiene un proceso diferente al resto de tubos, pudiendo seleccionar dos modos de tiempo de ejecución. Se han dispuesto de 3 conectores Jack debido a que algunos usuarios tienen dificultades motoras y poseen sus propios pulsadores personalizados acordes a su movilidad

El objetivo de este proyecto es potenciar la relación causa-efecto del usuario, traspasando al usuario la libertad de poder crear estímulos mediante el mando. Y poder ampliar la sala multisensorial que está creando el Colegio de Educación Especial del Hospital San Rafael con la ayuda de la Universidad Carlos III.

## Abstract

---

This project was specifically designed to address the needs of the Hospital San Rafael's Special Education School in Madrid, which serves students with severe motor and cognitive impairment. The Special Education School partners with the Working Group for Displays and Photonics of the University Carlos III, in Madrid. This partnership consists in contributing projects which will assist their students in their activities of daily living.

The aim of this project established within a Design for Everybody approach was to design and make a cause-effect stimuli system addressed to students with cognitive impairment and other disabilities. It has got one remote control device and 3 tubes in blue, yellow and red colors. The tubes are equipped with electrical fittings. Therefore, tubes blue and red have got motors, fans to move lightweight elements in the wind and LEDS illumination strips. The tube in yellow color has got a motor and LEDS strips to produce a light effect. The remote control is connected to the tubes by means of 3 colored-light buttons which match the tubes' colors. When pressing the chosen button, the tube matching its color will be turned on thereby turning on all the system's relevant touch stimuli (vibrations) and visual stimuli. Each tube triggers an all different process from the other two tubes and allows for two different speed modes. Three specific Jack connectors have been provided for students who because of more specific motor disabilities require their own custom-made buttons adapted to their mobility impairment.

The objective of this project is to enhance the cause-effect relationship to give the users the freedom to play with the remote control as they wish to freely trigger the stimuli they choose. And the project also adds up to the Multisensory Hall which is in the process of being set up by the Hospital San Rafael's Special Education School in collaboration with University Carlos III, in Madrid, Spain.

<b>INDICE DE FIGURAS Y TABLAS</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 1. Introducción y objetivos</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Introducción</b>	<b>12</b>
1.1.1 El Diseño para Todos	12
1.1.2 El Colegio de San Rafael. Presentación.	14
1.1.3 Ayudas técnicas en el mercado similares a la desarrollada	15
<b>1.2 Objetivos</b>	<b>17</b>
<b>1.3 Especificaciones del Sistema</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Fases del Proyecto</b>	<b>18</b>
<b>1.5 Medios utilizados</b>	<b>19</b>
<b>Capítulo 2. Diseño del sistema</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Diseño del sistema completo: visión general</b>	<b>20</b>
2.1.1 Modo de funcionamiento	21
<b>2.2 Diseño del mando</b>	<b>23</b>
2.2.1 Aspecto global del mando	23
2.2.2 Bloque 1. Entradas y acondicionamiento	27
2.2.3 Bloque 2. Microcontrolador	27
2.2.4 Bloque 3. Acondicionamiento salidas	29
2.2.5 Bloque 4. Alimentación	36
2.2.6 Bloque 5. Salidas	37
<b>2.3 Diseño del módulo de tubos</b>	<b>38</b>
2.3.1 Aspecto global del sistema	38
2.3.2 Bloque 1. Ventiladores y rejillas	40
2.3.3 Bloque 2. Motores de vibración	41
2.3.4 Bloque 3. Tiras de LEDS	42
2.3.5 Bloque 4. Iluminación	42
<b>Capítulo 3. Implementación y pruebas iniciales</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Software de microcontrolador</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Construcción mecánica del sistema (impresora 3D)</b>	<b>52</b>
<b>3.3 Implementación de la electrónica</b>	<b>60</b>
<b>3.4 Pruebas de comunicación correcta</b>	<b>75</b>
<b>Capítulo 4. Resultados experimentales e implementación final</b>	<b>77</b>
<b>4.1 Pruebas desarrolladas</b>	<b>77</b>
4.1.1 Funcionamiento satisfactorio	77
4.1.2 Pruebas de resistencia de uso	80
<b>4.2 Presupuesto</b>	<b>81</b>
<b>Capítulo 5. Conclusiones y posibles líneas futuras</b>	<b>84</b>
<b>5.1 Conclusiones</b>	<b>84</b>

5.2	Líneas Futuras	85
	<b>Bibliografía</b>	<b>86</b>
	<b>Anexos</b>	<b>90</b>
A.	PLANOS DE PIEZAS CONSTRUIDAS Y MECANIZADAS	90
B.	ESQUEMAS CIRCUITOS	94
C.	PROGRAMA MICROCONTROLADOR	106
D.	CALCULOS	115
E.	Guía Usuario	118



## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1 Exterior Colegio San Rafael y Aula Colegio San Rafael .....	14
Figura 2 Pulsador personalizado .....	15
Figura 3 Sala Snoezelen .....	16
Figura 4 Columna aire y burbujas .....	16
Figura 5 Diagrama de Gant .....	18
Figura 6 Bloques del sistema.....	20
Figura 7 Bloques del sistema 3D .....	20
Figura 8 Interruptor encendido.....	21
Figura 9 Módulo 3 tubos .....	22
Figura 10 Mando .....	23
Figura 11 Bloques mecánico mando .....	24
Figura 12 Flujo aire interior de la caja.....	26
Figura 13 Bloque electrónico mando .....	26
Figura 14 Arduino Uno .....	27
Figura 15 Mapa pines ATMEGA328-PU.....	28
Figura 16 Bloque Acondicionamiento salidas .....	29
Figura 17 Ventilador centrífgo .....	30
Figura 18 Tira de LEDS.....	30
Figura 19 Conexión Tira de LEDS inicial .....	31
Figura 20 Resultado conexión Tira de LEDS inicial.....	32
Figura 21 Bloque control tirade LEDS.....	33
Figura 22 Control tira de LEDS alternativo.....	33
Figura 23 L293B.....	34
Figura 24 TIP121.....	35
Figura 25 Regiones transistor.....	35
Figura 26 Control Iluminación.....	36
Figura 27 Bloque Alimentación .....	36
Figura 28 Salidas.....	37
Figura 29 Bloque Módulo Tubos .....	38
Figura 30 Bloque Módulo Tubos 3D.....	38
Figura 31 Bloque mecánico Módulo Tubos.....	39
Figura 32 Bloque electrónico Módulo Tubos .....	40
Figura 33 Desbaalance mecánico .....	41
Figura 34 Excentricidad .....	42
Figura 35 Tira de LEDS.....	42
Figura 36 Programa principal .....	43
Figura 37 Proceso tubo azul .....	44
Figura 38 Proceso tubo rojo .....	45
Figura 39 Proceso tubo amarillo .....	47
Figura 40 Función selector tiempo.....	48
Figura 41 Función Motor.....	49
Figura 42 Oscilación antirrebote .....	50

Figura 43 Función antirrebote .....	50
Figura 44 Caja mecanizada.....	52
Figura 45 Mando completo.....	53
Figura 46 Mecanizado T1 y T3.....	53
Figura 47 Mecanizado T2 .....	54
Figura 48 ¼ Caja .....	54
Figura 49 Unión cajas .....	55
Figura 50 Tapa.....	55
Figura 51 Conectores cajas .....	55
Figura 52 Cajas terminadas .....	56
Figura 53 Pieza filtro .....	57
Figura 54 Pieza filtro y malla .....	57
Figura 55 Cono filtro.....	57
Figura 56 Filtro completo .....	58
Figura 57 Motor vibrador.....	58
Figura 58 Distribución motores.....	59
Figura 59 Tubo tira de LEDS I .....	59
Figura 60 Tubo tira de LEDS II .....	60
Figura 61 Zona amarilla bloque alimentación.....	61
Figura 62 Fuente de alimentación .....	62
Figura 63 Conector Jack alimentación .....	62
Figura 64 Interruptor .....	62
Figura 65 LM7805.....	63
Figura 66 LM317T.....	64
Figura 67 Acondicionamiento entradas.....	64
Figura 68 Pulsadores luminosos.....	65
Figura 69 Conexión Jack 3.5 .....	65
Figura 70 Microcontrolador .....	66
Figura 71 Control motores .....	68
Figura 72 Control ventiladores.....	70
Figura 73 Control tiras de LEDS.....	71
Figura 74 Relé.....	72
Figura 75 ULN2003A.....	72
Figura 76 74HC138.....	73
Figura 77 SN74LS04N .....	73
Figura 78 Conector salida.....	74
Figura 79 Mangueras de conexión.....	74
Figura 80 Pruebas mando .....	75
Figura 81 Etiquetas conector .....	76
Figura 82 Etiquetas mangueras y continuidad.....	76
Figura 83.....	116
Figura 84.....	116
Figura 85 Cálculo resistencia LEDS .....	117

Tabla 1 .....	17
Tabla 2 .....	31
Tabla 3 .....	46
Tabla 4 .....	56
Tabla 5 .....	67
Tabla 6 .....	69
Tabla 7 .....	74

# Capítulo 1. Introducción y objetivos

## 1.1 Introducción

### 1.1.1 El Diseño para Todos

A lo largo de la historia, las personas con alguna discapacidad han quedado relegadas al olvido. Debido a creencias infundadas por ciertos sectores de esas sociedades y el miedo a lo desconocido, albergaba un rechazo masivo hacia estas personas y a su no integración en la sociedad, incluso se prescindía de ellas.

Fue a partir de la Segunda Guerra Mundial cuando, comenzó a verse las personas con discapacidad de una forma médica (salud versus enfermedad) y que podrían aportar algo a la sociedad siempre que se las “normalizase” o “rehabilitase” [1].

Pero no es hasta la década de los setenta, más o menos, cuando se plantea un modelo social de la discapacidad en el cual se defiende que no existen limitaciones individuales, sino limitaciones de la sociedad por no adecuarse a todos sus miembros. Esto provoca un cambio en la política y en la visión de la sociedad, y nuevas normativas para poder abarcar todo este nuevo panorama que florece ante nuestros ojos y que antes no era valorado.

Es así como comienza, paso a paso, a hablarse del Diseño para Todos (DpT) o Diseño Universal. El artículo 2 de la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, aprobada en 2006 y ratificada por España en 2007 lo define como: *“El diseño de productos, entornos, programas y servicios que pueden utilizar todas las personas, en la mayor medida posible, sin necesidad de adaptación ni diseño especializado”* [2]. Además, se aclara que: *“El diseño universal no excluirá las ayudas técnicas para grupos particulares de personas con discapacidad, cuando se necesiten”*.

En los años noventa, de la mano del arquitecto Ronald L. Mace, se hace una valoración crítica del Diseño Universal y se crean una serie de principios que agruparán esta filosofía del diseño, en la cual se busca una resolución para las necesidades de todas las personas. Estos 7 principios básicos son:

- **Uso equitativo:** debe ser de fácil uso y acorde a todas las personas, independientemente de sus capacidades y habilidades.
- **Flexibilidad en el uso:** debe poder adecuarse a diferentes usos y habilidades individuales.
- **Uso simple e intuitivo:** debe ser fácil de entender, aunque no se tenga la experiencia, conocimientos, habilidades y nivel de concentración previos.
- **Información perceptible:** tiene que haber un feedback entre el diseño y la persona, independientemente de las capacidades sensoriales o las condiciones ambientales del mismo.
- **Tolerancia al error:** se deben reducir al mínimo los accidentes no deseados que pudiesen ocurrir.
- **Bajo esfuerzo físico:** debe poder ser usado eficazmente y sin esfuerzo.
- **Tamaño y espacio para el acceso y el uso:** las dimensiones tienen que ser apropiadas para su alcance, manipulación y uso.

En esta época, es cuando se forma también el European Institute for Design and Disability (EIDD) con una misión *“mejorar la calidad de vida mediante el Diseño para Todos”* [3].

El 9 de Mayo de 2004, se aprobó la *“Declaración de Estocolmo para el Diseño para Todos”*, en la cual se dicta *“El Diseño para Todos es un planteamiento holístico e innovador, que constituye un reto ético y creativo para todos los diseñadores, empresarios, administradores y dirigentes políticos”*.

Este proyecto se estructura en torno al DpT, el sistema desarrollado cumple los siete principios del DpT. Destacando sobre todo el primer principio, el proyecto está destinado a personas con serias dificultades motoras y cognitivas, pero lo puede usar cualquier tipo de persona. Por otra parte, y siguiendo una más de las directrices básicas del DpT, se comprobará cómo se ha contado con el usuario final en todas las fases posibles de Diseño, ya que se ha visitado repetidamente el centro donde se instalará para recabar la opinión del personal del mismo.

### 1.1.2 El Colegio de San Rafael. Presentación.

El Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael [4] está situado en la calle Serrano 199 de Madrid. (Véase *Figura 1*).



**Figura 1 Exterior Colegio San Rafael y Aula Colegio San Rafael**

En él atienden a personas con problemas cognitivos y motores. Prestando varios tratamientos que abordan aspectos pedagógicos, motóricos, de comunicación, salud, alimentación, aseo e higiene.

El personal que trabaja en el colegio, lo forman:

- *Fisioterapeutas.*
- *Pedagogos.*
- *Profesores de Educación Especial.*
- *Ayudas técnicas.*
- *Psicólogos.*
- *Enfermeros.*
- *Voluntarios.*

El Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas (GDAF) del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III colabora con dicho colegio, a través del Departamento de Ayudas Técnicas. Los alumnos y profesores adscritos a este Departamento, de la UC3M, realizan proyectos para el uso en las instalaciones del Colegio San Rafael.

Este Departamento realiza varias funciones dentro del colegio con el objetivo de favorecer el aprendizaje y un sencillo uso de objetos. Dentro de las funciones que realizan destacan la adaptación de objetos electrónicos y materiales, la elaboración de software y hardware, la colaboración en proyectos de investigación,...

Un ejemplo de ello es que, todos los juguetes y sistema electrónicos están adaptados, por estar dotados de un conector Jack hembra, para poder acoplar un pulsador (véase *Figura 2*) que poseen los alumnos con dificultades motoras y así poder interactuar con el sistema. El pulsador es personalizado para cada alumno, conforme a sus habilidades particulares de movilidad.



**Figura 2 Pulsador personalizado**

La necesidad del colegio es la transformación de un aula del centro, y convertirla en una sala de estimulación multisensorial (Sala Snoezelen). Esta aula ya está compuesta de algunas partes, que se han realizado por estudiantes de la UC3M [5], debido a su alto coste en el mercado y así poder optar a sistemas de ayudas a un bajo coste; y poder potenciar el aprendizaje de los alumnos del centro.

Para ello han solicitado que se desarrolle una pequeña parte más de las que se compone una Sala Snoezelen. Esta parte se compone de: un sistema dotado de 3 tubos que produzcan estímulos visuales y táctiles ocasionados a través de una interfaz dotada de 3 pulsadores luminosos.

### **1.1.3 Ayudas técnicas en el mercado similares a la desarrollada**

Como se ha presentado en el anterior apartado, la ayuda técnica que se desarrollará, en el mercado entraría como parte de las que se denominan salas de estimulación sensoriales (Salas Snoezelen) [6]. La primera Sala Snoezelen se creó en 1970 en Holanda siendo su principal objetivo estimular a personas con dificultades psíquicas y discapacidades físicas. Como se puede observar en la *Figura 3* una Sala Snoezelen la forman multitud de sistemas de estimulación sensorial.





**Figura 3 Sala Snoezelen**

Estas salas no solo tienen como objetivo la estimulación multisensorial. Poseen otros objetivos como la relajación, disfrute y modificación del comportamiento del usuario.

En el mercado se pueden encontrar varios productos que se asemejan al sistema desarrollado. Estos potencian la estimulación visual y táctil. Entre estos productos destacan columnas de aire y de burbujas. En la *Figura 4* se pueden apreciar las columnas: la imagen de la izquierda pertenece a la columna de burbujas, consiste en la iluminación del tubo y circulación de perlas porex a través de un flujo de aire; la imagen de la derecha pertenece a la columna de burbujas de agua e iluminación brillante [7].



**Figura 4 Columna aire y burbujas**

Estos productos tienen un precio en el mercado alrededor de los 1500€, el cual precio es inasumible para numerosos centros y, en particular para el Colegio de Educación Especial San Rafael. Por ello, se ha creado la necesidad de elaborar este proyecto de bajo coste que permita un resultado similar al de ellos.



### 1.2 Objetivos

El proyecto aborda tres principales objetivos:

- El primero de ellos es, fomentar la relación causa-efecto en los alumnos del centro. A través de la comprensión de un hecho que ha sucedido, por la interacción que se ha mantenido con un objeto por parte del usuario y poder potenciar la estimulación sensorial de los sentidos primarios, y así aumentar su nivel cognitivo y de atención.
- El segundo objetivo es elaborar un sistema que pueda utilizarse como un juguete de una manera interactiva, divertida, y adquirir un cierto aprendizaje que posteriormente pueda utilizar el alumno en su vida diaria.
- Por último, el ampliar la sala multisensorial que están construyendo en el Colegio, a través de los proyectos que se están realizando mediante la colaboración de la UC3M, intentando siempre que estos tengan un bajo coste y cumplan las funciones específicas que demandan los profesores que utilizan Ayudas Técnicas en el colegio.

### 1.3 Especificaciones del Sistema

En la segunda reunión que se mantuvo con el Colegio, se detalló lo que se iba a realizar en el proyecto. Se indicaron unas especificaciones que querían que se cumpliesen, estas especificaciones se muestran en la *Tabla 1*.

<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>Nº TUBOS</i>	3
<i>LONGITUD TUBO</i>	50cm
<i>DIAMETRO TUBO</i>	15 cm
<i>Nº PULSADORES</i>	3
<i>COLOR PULSADORES</i>	AZUL, AMARILLO Y ROJO
<i>TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO</i>	CONMUTABLE 20 s y 45 s
<i>COMPORTAMIENTOS</i>	VIBRACIÓN, ILUMINACIÓN Y MOVIMIENTO OBJETOS
<i>CONEXIÓN MANDO-TUBOS</i>	LONGITUD CABLEADO 2 m

**Tabla 1 Especificaciones**

Especificaron que los tubos tenían que ser de plástico transparente y las siguientes dimensiones: medir unos 50cm de altura, y un diámetro de 15cm.

Inicialmente se quería que el proyecto estuviera formado por 3 tubos de plástico transparente, que sufrieran unos tipos de comportamientos tanto mecánicos como visuales. Estos comportamientos eran que vibrasen los tubos, se iluminasen y que moviesen plumas, papeles y una pelota de ping pon, en el interior de los tubos.

Esta última especificación no se ha sido capaz de realizarla, ya que se hicieron diversas pruebas de funcionamiento con ventiladores de razonable consumo y era una tarea muy complicada de llevarla a cabo con el diámetro propuesto. Finalmente, se pensó una nueva idea y se consensuó con los técnicos del colegio. Esta propuesta es la de simular la subida y bajada de un objeto pero con efectos luminosos.

### 1.4 Fases del Proyecto

A continuación se mostrara un Diagrama de Gant, en el que se mostrara las fases que se han seguido en el desarrollo del proyecto.

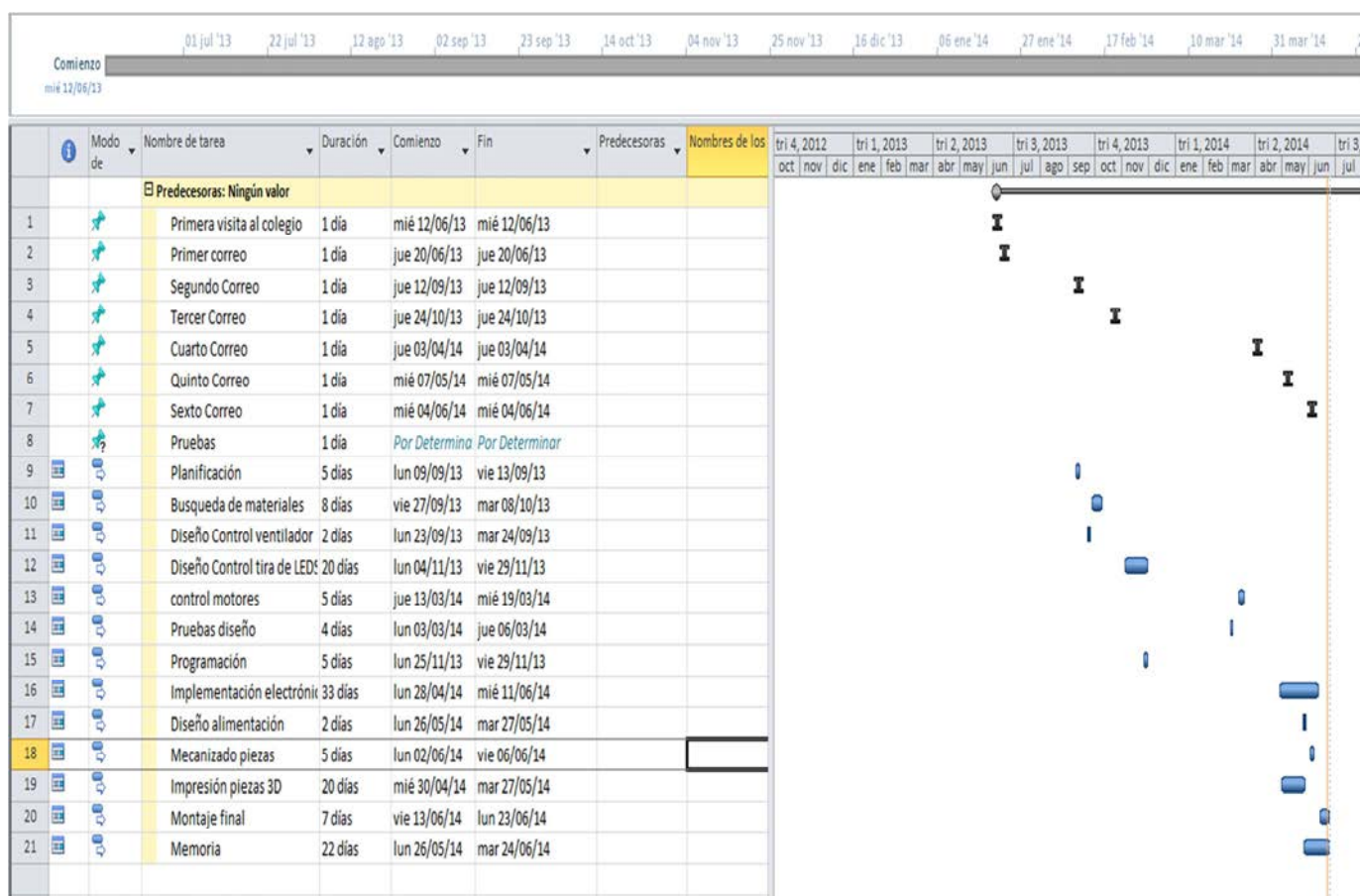


Figura 5 Diagrama de Gant

### 1.5 Medios utilizados

Los medios utilizados se dividen en una parte software y otra hardware, todo disponible en el laboratorio 1.2.C.12 del Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas o adquirido al efecto.

- Software:
  - AutoCad: se han realizado los planos de los mecanizados y el modelado 3D para fabricar las piezas en 3D.
  - Google SketchUp: se ha utilizado este programa para el modelado 3D de las piezas a fabricar en la impresora 3D
  - Replicator3D: es el programa que genera el código para la fabricación de las piezas en la impresora 3D.
  - Arduino: programa con el que se ha realizado la programación en C del  $\mu$ C.
  - Orcad Capture 16.6: con este programa se han realizado los esquemas de los circuitos electrónicos.
  - Visio: realización de diagramas de flujo y esquemas.
- Hardware:
  - Herramienta rotativa Dremel 3000: se ha utilizado para mecanizar el tubo, las cajas de los tubos,... Debido a que contiene múltiples útiles para cortar, pulir, taladrar,...
  - Útiles soldadura: soldador y desoldador. Para implementar la electrónica en la placa de puntos.
  - Pistola pegamento termofusible, acetona para la unión de las piezas fabricadas en la impresora 3D.
  - Impresora 3D Markerbot: para realizar las piezas diseñadas.
  - Pintura
  - Destornilladores, cúter, pelacables, maquina crimpadora de pines...
- Laboratorio:
  - Laboratorio de trabajo del Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas del Departamento de Tecnología Electrónica. Se ha utilizado la fuente de alimentación y polímetros.

## Capítulo 2. Diseño del sistema

### 2.1 Diseño del sistema completo: visión general

El sistema diseñado trata sobre la interacción entre dos bloques principales. Como se puede observar en la *Figura 6* el primer bloque lo forma el mando, en el cual se procesan las entradas y es el encargado de activar los actuadores eléctricos, ventiladores, motores e iluminación. Todos estos elementos se encontrarán en el segundo bloque del sistema, que se denominara módulo de tubos. Todos estos elementos estarán colocados en 3 tubos. La conexión de estos dos bloques, se lleva a cabo mediante cableado. La visión general del sistema completo se puede ver en la *Figura 7*.



Figura 6 Bloques del sistema

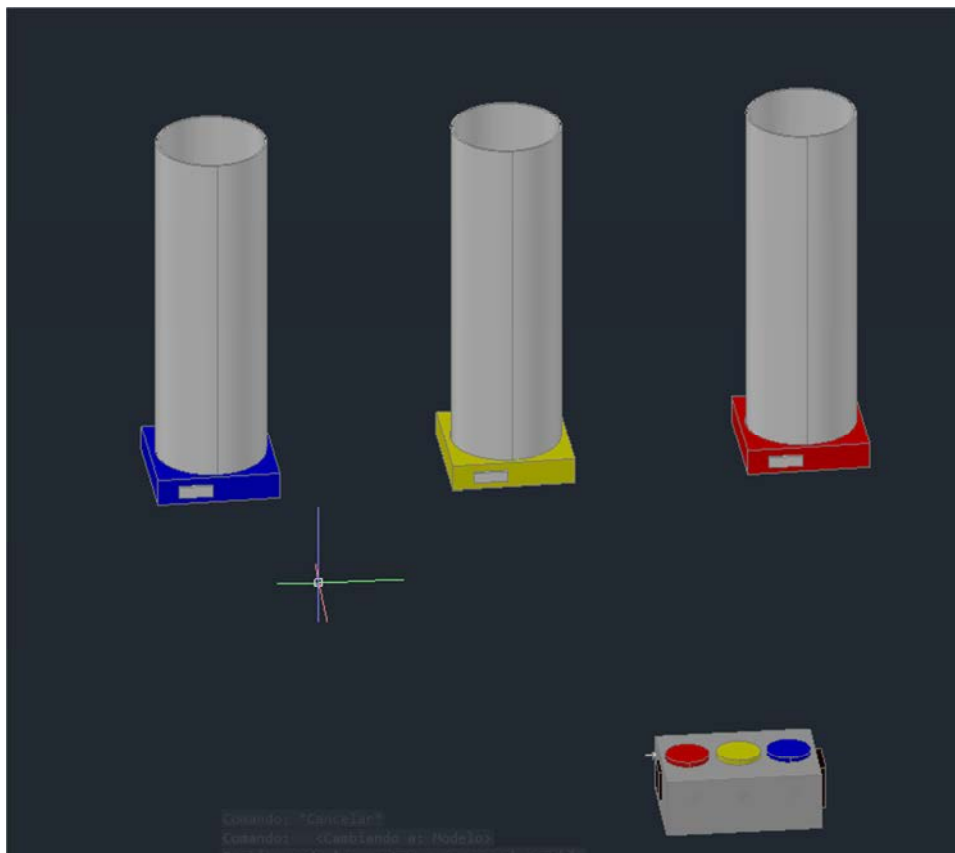


Figura 7 Bloques del sistema 3D

### 2.1.1 Modo de funcionamiento

Se comenzará explicando el funcionamiento del “juguete”, para poder comprender mejor los aspectos electrónicos y mecánicos del sistema, posteriormente profundizaremos en ellos. La función del sistema es la activación de uno de los 3 tubos de los que consiste, a través de la interacción con el mando.

En primer lugar se encenderá el “sistema”, pulsando el interruptor de encendido que se encuentra en la parte trasera del mando, como se puede notar en la (Figura 8). Una vez encendido, el juguete estará preparado para activar uno de los tres tubos que se elija y se podrá seleccionar el tiempo de funcionamiento de cada tubo.



Figura 8 Interruptor encendido

- **TIEMPO**

Antes de que el sistema empiece a funcionar, se podrá seleccionar el tiempo de activación de cada tubo, se realizará a través de un interruptor de palanca de 2 posiciones: estando en la posición 1, el tiempo de activación del tubo será de 20 segundos, y si está en la posición 2, el tiempo será 45 segundos. Este interruptor podrá cambiar su posición también cuando estén funcionando los tubos, pero el tiempo de encendido del tubo no afectará al proceso que se esté llevando a cabo, sino la siguiente vez que se vuelva a tocar un pulsador. Este interruptor se encuentra en la cara lateral derecha del mando y sirve para los 3 tubos.

- **TUBO AZUL**

Este tubo empezará su proceso, cuando se pulse el pulsador Azul, entonces se activará el tubo 1 (tubo azul o T1). Se iluminará el tubo de color azul, como el pulsador. Además se activará el

ventilador, moviendo confeti. Y se activarán los 3 motores que tiene el tubo, produciendo la vibración del tubo. El tubo y sus elementos se pueden apreciar en la *Figura 9*.

- **TUBO AMARILLO**

Este tubo empezará su funcionamiento cuando se presione el pulsador Amarillo, entonces se activará el tubo 2 (tubo amarillo o T2). Se iluminará el tubo de color amarillo, como el pulsador. Se iluminará a través de las tiras de leds, simulando un efecto, tal que un objeto que sube y baja por el tubo. Y como en el T1 se activarán los motores. El tubo y sus elementos se pueden apreciar en la *Figura 9*.

- **TUBO ROJO**

Este tubo empezará su proceso cuando se pulse el pulsador Rojo, entonces se activará el tubo 3 (tubo rojo o T3). Se iluminará el tubo de color rojo, como el pulsador. Así mismo, se activará el ventilador, moviendo confeti. Y se activarán los motores que tiene el tubo, y hará que vibre el tubo. El tubo y sus elementos se pueden apreciar en la *Figura 9*.



**Figura 9 Módulo 3 tubos**

### 2.2 Diseño del mando

#### 2.2.1 Aspecto global del mando

El diseño del mando se ha realizado de una manera fácil y útil para los niños, tanto la parte mecánica, como la electrónica. El mando se compone de una caja gris, en la que en su interior se encuentra la placa con todos los componentes electrónicos que se usarán en el sistema. En la parte superficial se ubican todas las entradas del sistema y los conectores para poder conectar el mando con el bloque del módulo de los tubos (véase *Figura 10*).

El aspecto global del mando, se divide en dos partes una parte mecánica y otra parte electrónica. Toda la electrónica de todo el sistema se encuentra en el mando.

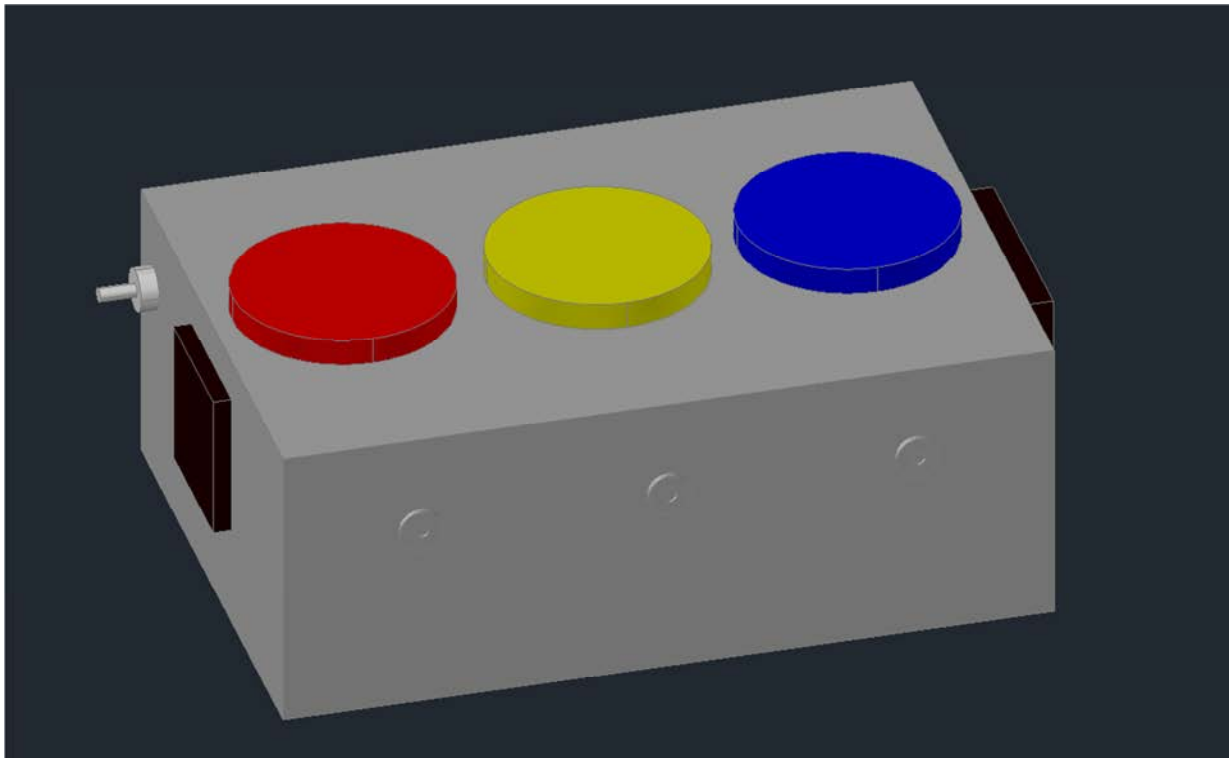


Figura 10 Mando

### 1. Parte mecánica

Esta se compone de una caja gris, que será la envolvente del mando. Como se puede observar en la *Figura 10*, se diferencian los bloques de los que se compone el mando.

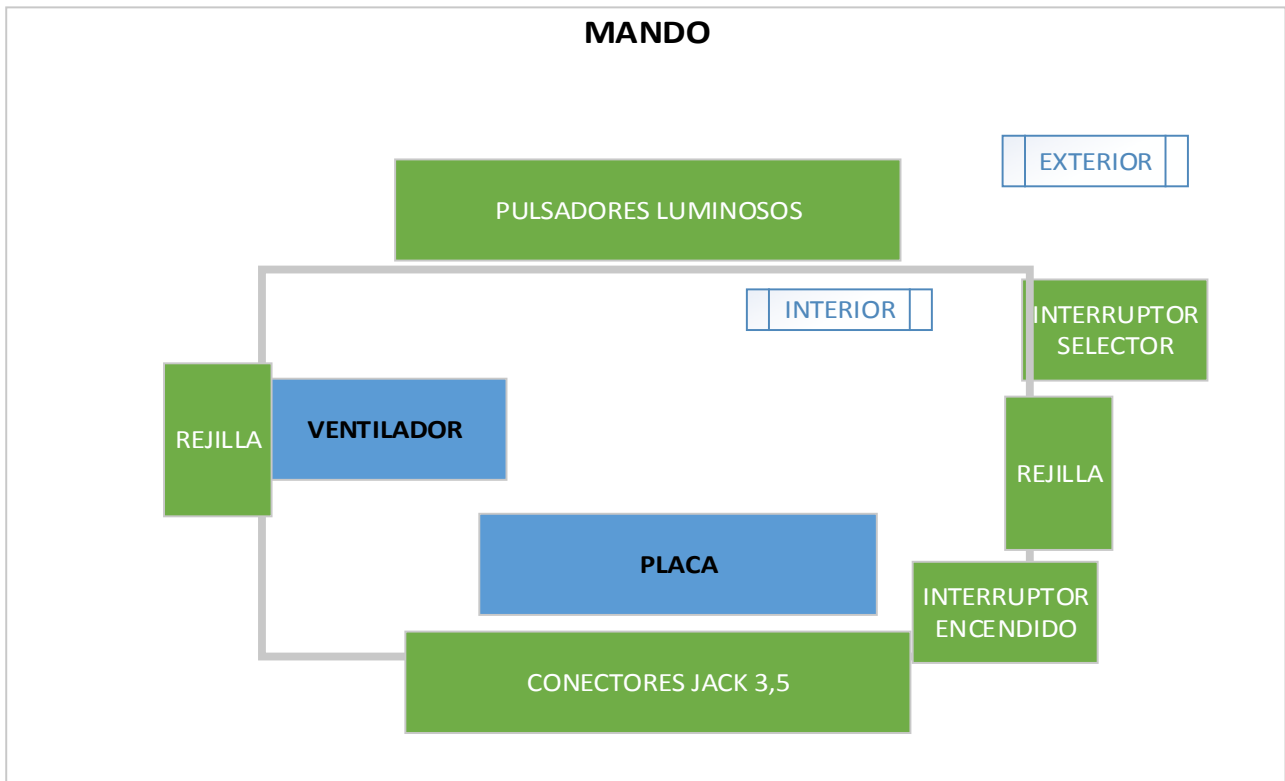


Figura 11 Bloques mecánico mando

- **CAJA**

Los elementos que han provocado las dimensiones que posee la caja, han sido la altura de los pulsadores y las dimensiones finales de la placa, incluyendo el cableado interno de la placa y el externo dirigido al conector. Una vez que se sabían estas dimensiones se eligió una caja en la que todos los elementos entrasen sin ninguna dificultad. El tipo de caja es de ABS con las siguientes dimensiones 220x145x80 mm. Como se ve en la *Figura 9* en ella se colocan los pulsadores y en su interior se coloca la placa. Para ubicar los pulsadores luminosos, interruptores y los demás elementos que la componen, se ha mecanizado la caja para adecuarlos a ella.

- **PULSADORES LUMINOSOS**

El mando lo componen 3 pulsadores de color azul, amarillo y rojo, según las especificaciones. Estos tienen un diámetro de 60mm, y son los más adecuados atendiendo a las normas para el diseño para todos: tienen un gran tamaño para que los niños puedan apreciarlos adecuadamente, son rápidos y suaves en la pulsación para obligar al mínimo esfuerzo físico posible, y son robustos para tener



suficiente flexibilidad en las habilidades de los usuarios que los pulsen. Los 3 pulsadores luminosos, están formados por una tapa de color, una bombilla de 12V y 0,17A, un final de carrera y una pieza plástica, que hace conmutar el interruptor final de carrera.

Su colocación es en la superficie superior de la caja negra, estando los 3 alineados.

- **INTERRUPTORES**

La caja dispone también de interruptores. Uno de ellos es del tipo palanca, que es el selector del tiempo. El interruptor de encendido del sistema es de color negro.

En la caja se dispondrán superficialmente los interruptores de selector de tiempo y encendido del juguete. El selector de tiempo se ubicará en el lateral de la caja y el interruptor de encendido se colocara en la parte de atrás de la caja, para que los usuarios del juguete no puedan pulsarlo tan fácilmente. Esto es un requerimiento del centro, pues los profesores prefieren que los mandos que ellos tengan que usar sean menos accesibles para los alumnos.

- **CONECTOR HEMBRA JACK 3.5**

Se dispone de estos conectores, para conectar con un pulsador propio que tienen los usuarios. Ya que algunos usuarios que utilizan el sistema, no pueden interactuar con los pulsadores luminosos. Estos se instalarán en la parte frontal de la caja.

- **VENTILADOR, FILTRO y REJILLA**

Finalmente, se ha añadido un ventilador para refrigerar el interior de la caja.

- **Diseño inicial**

En un primer momento, no se tuvo en cuenta un tema tan importante como es la disipación del calor producido por los reguladores de tensión, ya que al final se tienen corrientes de cierta importancia. En ese diseño inicial, se pensó en una caja de dimensiones reducidas, en la que entrasen sin problemas los pulsadores y estuviesen lo más cercanos entre ellos. Además, se buscó que la placa fuese lo más pequeña posible, para que el volumen de la caja fuese el menor, pero finalmente no se pudo obtener una caja de dimensiones reducidas. Y se eligió otra alternativa.

- **Diseño final**

El diseño final de la caja de plástico, lo han determinado los reguladores de tensión, ya que estos alcanzan altas temperaturas. Y al ser una caja cerrada y sin circulación de aire, podría llegar a ocasionar destrucción de componentes, fallos en la ejecución del sistema y peligros para la integridad de la persona como del entorno, donde se encuentre el sistema.

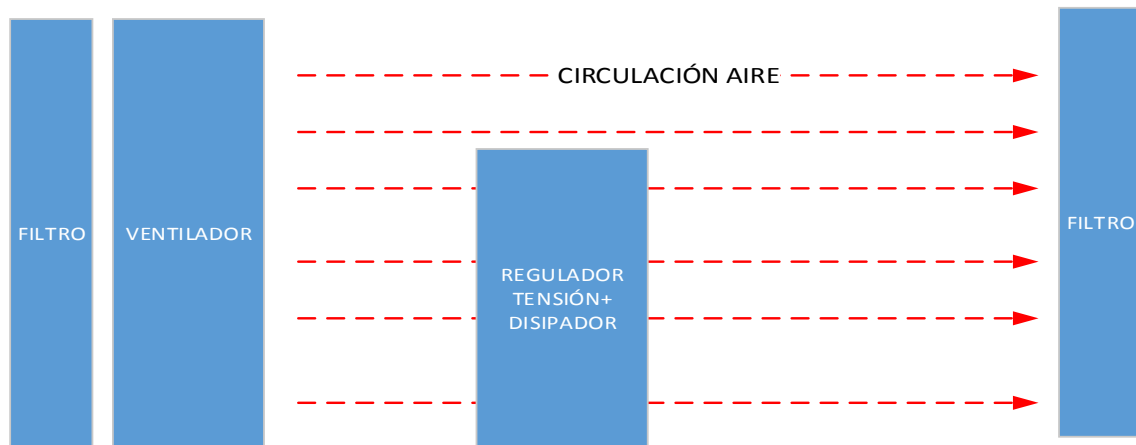


Figura 12 Flujo aire interior de la caja

Por ello, se ha optado por añadir un ventilador pequeño, que desempeñe la función de evacuar el calor producido por los reguladores de tensión, y así no alcanzar altas temperaturas en el interior de la caja, por los motivos comentados anteriormente. Este ventilador se colocará cerca de los reguladores de tensión, que serán el principal foco de calor, como se puede ver en la *Figura 12*. En la pared opuesta a donde se ha colocado el ventilador, se ha mecanizado la caja, para instalar un pequeño filtro, para que pueda salir el aire, y poder crear una circulación de aire óptima.

## 2. Parte electrónica

Todo el diseño electrónico del sistema se concentra en el mando. Toda la electrónica se dispone en una placa, que se encuentra en interior de la caja gris. Esta placa, se divide en varios bloques funcionales. Todos ellos están conectados a una alimentación, que se origina en el bloque alimentación, se aprecia en la *Figura 13*.

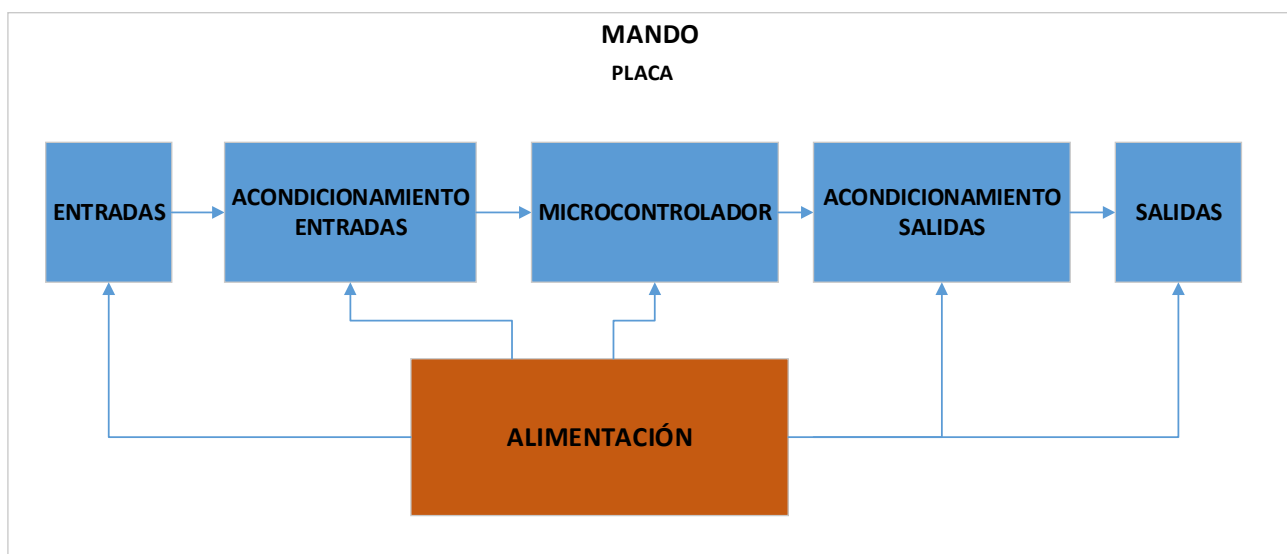


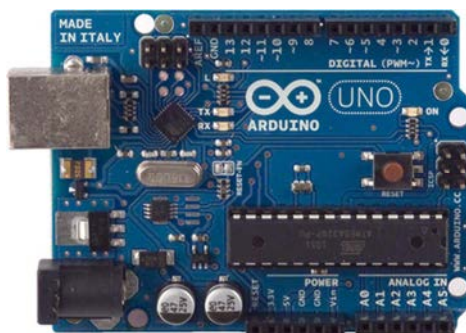
Figura 13 Bloque electrónico mando

### 2.2.2 Bloque 1. Entradas y acondicionamiento

En él se encuentran los pulsadores luminosos, selector y los conectores Jack 3,5, que son las entradas del sistema, que leerá el microcontrolador, después de haberlas acondicionado previamente.

### 2.2.3 Bloque 2. Microcontrolador

El microcontrolador que se ha utilizado es el ATMEGA-328PU [15], que contiene la placa Arduino Uno, como se muestra en la siguiente *Figura 14*. Esta placa se ha utilizado para probar la implementación electrónica cuando los circuitos estaban en la placa protoboard.



**Figura 14** Arduino Uno

Se ha elegido este microcontrolador frente a otros, por los siguientes motivos:

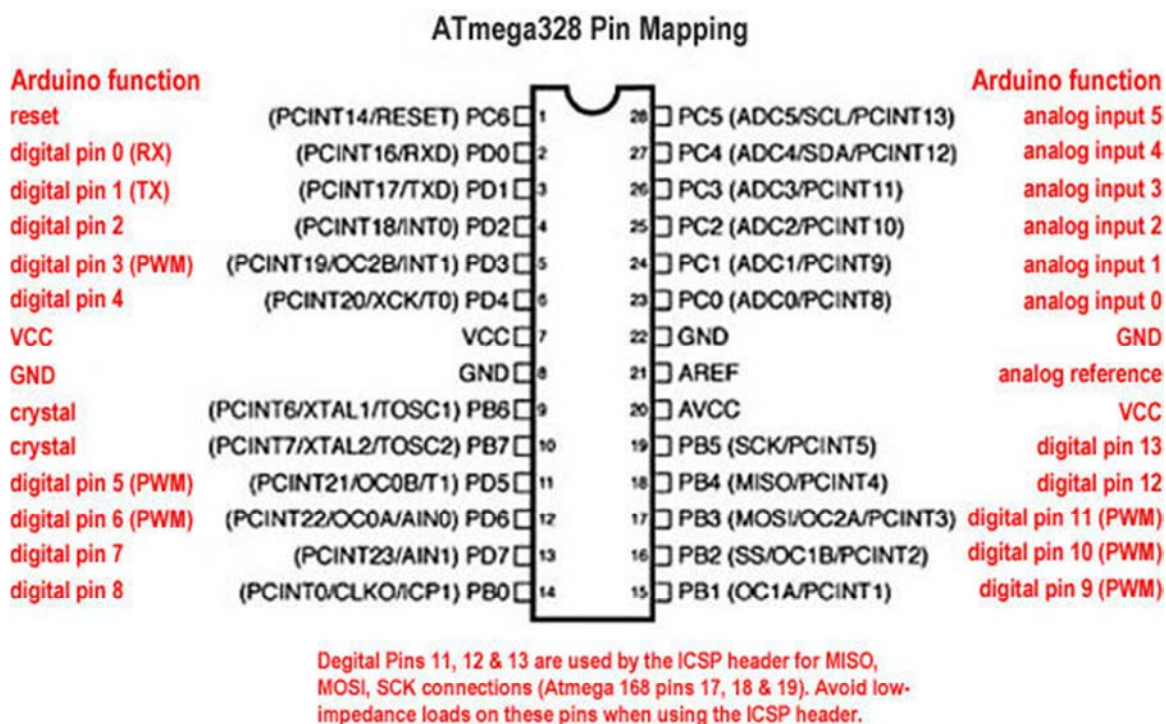
1. Es un microcontrolador fácil de usar y sencillo.
2. La IDE Arduino es gratis, fácil y de código abierto. Programación en C.
3. Tiene 14 pines digitales que pueden ser configuradas como entrada o salida. También, contiene 5 entradas analógicas y pueden ser configuradas como entradas o salidas digitales.
4. Es uno de los mejores  $\mu C$  que hay en el mercado en relación calidad/precio. Además, es uno de los  $\mu C$  más utilizados actualmente. Este tema es de gran ayuda porque facilita si aparece cualquier duda o problema, al existir numerosos foros y páginas web, con una gran cantidad de información. Cualquier problema puede ser resuelto fácilmente [8].

Características:

- 14 pines entrada/salida, 6 de ellos pueden utilizarse como salidas PWM.
- 6 entradas analógicas 10bits.
- Velocidad 16MHz.

- Conexión USB y conector alimentación.
- Memoria Flash: 32kB.
- SRAM: 2kB.
- EEPROM: 1kB.
- Tensión funcionamiento: 5V.
- Comunicación en serie I2C, SPI, UART.

El esquema de pines del  $\mu\text{C}$ , se puede observar en la *Figura 15*.

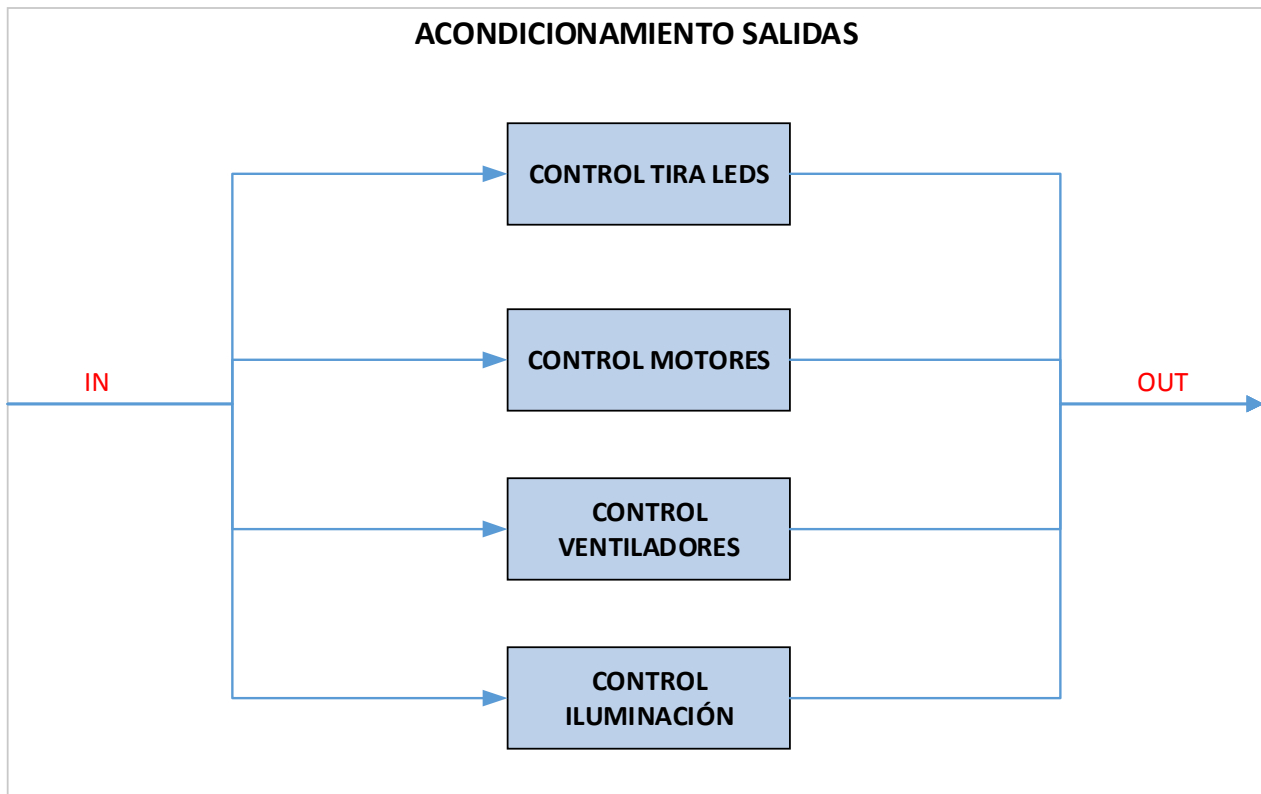


**Figura 15 Mapa pines ATMEGA328-PU**

El  $\mu\text{C}$  es el encargado de leer las entradas, en este caso los pulsadores y el interruptor de palanca. Y, según la entrada que lea y que esté activa, realizará un proceso durante un tiempo determinado, activando las salidas que sean necesarias para el proceso. Las entradas y salidas que estén conectadas al  $\mu\text{C}$ , estarán acondicionadas para no crear cortocircuitos, que puedan llevar a destrucción parcial del pin, o incluso completa del  $\mu\text{C}$ .

### 2.2.4 Bloque 3. Acondicionamiento salidas

La activación de los actuadores se realiza mediante el acondicionamiento de las salidas del microcontrolador. Este acondicionamiento se divide en 4 bloques, como se aprecia en la *Figura 16*.



**Figura 16** Bloque Acondicionamiento salidas

Todas las conexiones de las salidas se llevarán a conectores y conectarán con el módulo de tubos.

#### 1. Control tira de leds

- **Inicial**

Al inicio, cuando se definieron las especificaciones del sistema, una de ellas consistía en que en el interior de un tubo hubiese una pelota de ping-pong, y que describiese el comportamiento de subir y bajar a lo largo de él.

Se comenzaron a hacer pequeñas pruebas, la primera de ellas fue probar con un tubo lo suficiente estrecho para que todo el caudal de aire que genera el ventilador atravesara una superficie pequeña y así hacer una mayor presión sobre la superficie de la pelota para levantarla.

La primera conclusión que se obtuvo, fue que se necesitaría un ventilador con mayor potencia. Se decidió utilizar un secador de pelo, pero no era capaz ni tan siquiera de levantarla. Finalmente, se optó por buscar un ventilador centrífugo como el que se observa en la *Figura 17*, ya que generan altas

presiones, pero fijándonos en el precio de este, las dimensiones (grandes) y si podía llegar a funcionar, la idea de levantar una pelota de ping-pong se descartaba.



Figura 17 Ventilador centrífugo

- **Final**

Una vez descartada la idea, se pensó otra alternativa y se propuso a los técnicos del colegio, el sustituir la pelota de ping-pong. La alternativa era la de controlar algunos elementos lumínicos que hiciesen tal efecto visual. Para ello, se adquirió una tira de LEDS RGB de 1m de longitud y 12V [16], ya que se iba a trabajar con esta tensión, y no otras tiras de LEDS de tensión mayor que hay en el mercado.

En un primer momento, se pensó que cada vez que hiciese una subida y una bajada la iluminación por la tira, cambiase de color. Pero finalmente, los técnicos del colegio, decidieron que se utilizase únicamente el color amarillo.

Cuando se empezó a diseñar el control, se optó por que se controlasen 7 tiras de LEDS. Se puede observar en la *Figura 18* una tira de LEDS. El terminal +12V es la alimentación de la tira de LEDS, esta empieza comienza a iluminar con 8V. Los terminales R, G y B, se utilizan para adecuar el color con el que se quiere iluminar la tira de LEDS *Tabla 2*.



Figura 18 Tira de LEDS

Para manejar el color de la tira RGB, se han utilizado 3 pines del  $\mu C$ , uno por cada color primario. Como se ha descrito anteriormente, se utilizara únicamente el color amarillo. Es decir, se emplearan dos pines, para conseguir el color amarillo. Los colores que se pueden obtener con la tira de LEDS RGB los determina la siguiente *Tabla 2*, el estado de los pines serán High (5V) y LOW (0V).

R	G	B	COLOR
LOW	LOW	LOW	OFF
LOW	LOW	HIGH	AZUL
LOW	HIGH	LOW	VERDE
LOW	HIGH	HIGH	CYAN
HIGH	LOW	LOW	ROJO
HIGH	LOW	HIGH	MAGENTA
HIGH	HIGH	LOW	AMARILLO
HIGH	HIGH	HIGH	BLANCO

**Tabla 2** Color tiras LEDS

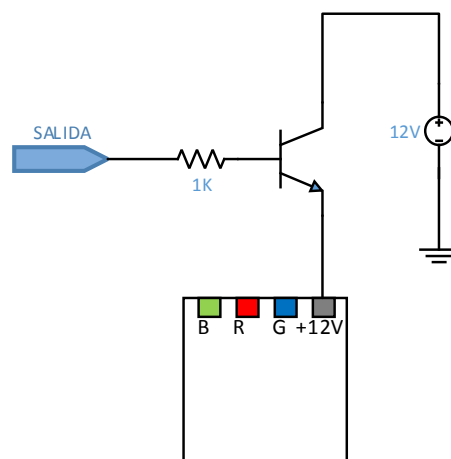
Se usará una etapa de amplificación para controlar el color de las tiras, ya que la señal que envía el  $\mu C$  no es suficiente como para activar o desactivar cada color de la tira.

Para este proyecto, se utilizarán el color azul, rojo y amarillo, para este último se deberán combinar el color rojo y el verde.

Una vez que se ha conseguido controlar el color de la tira de LEDS. Se llevó a cabo el diseño del encendido y apagado de la tira de LEDS.

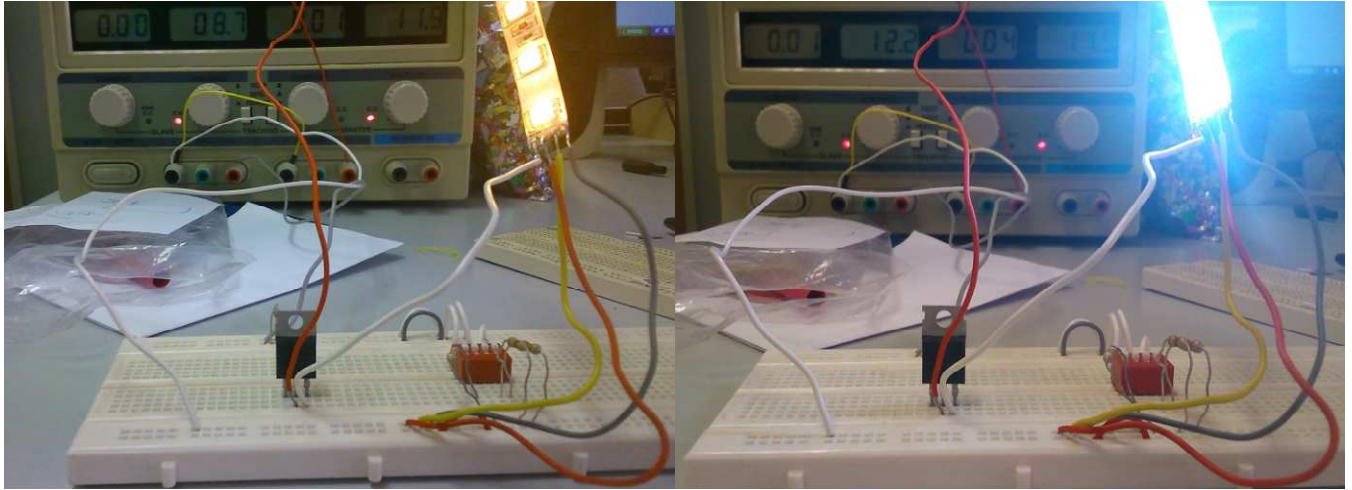
- **Diseño inicial**

En un inicio, se decidió por controlar el encendido de las tiras con transistores bipolares, mediante el esquema que muestra la *Figura 19*. Esta opción se descartó porque se necesitaba una tensión de 7,5V en la base del transistor solo para polarizar el transistor y que el transistor empezase a generar corriente en el emisor, a fin de que la tira de LEDS se encendiese. Este control de la tira era imposible ya que un pin de salida del micro emite como valor máximo de tensión 5V. Véase *Figura 20*.



**Figura 19** Conexión Tira de LEDS inicial





**Figura 20 Resultado conexión Tira de LEDS inicial**

### Diseño final

El diseño definitivo elegido es utilizar relés para activar y desactivar cada tira de LEDS. La elección de las características del relé la determina el  $\mu C$ . Como la activación de un pin digital de salida es 5V, el relé tiene que ser de 5V.

Una vez que tenemos el dispositivo que enciende y apaga la tira de Leds, se tiene que diseñar el control de la excitación de la bobina del relé que será la encargada de encender y apagar la tira. Para el control de esta, en un primer momento, se utilizó el procedimiento que indica la *Figura 26*, se explicará en el apartado sobre el control de iluminación. Pero finalmente se optó por utilizar el integrado ULN2003A de pares Darlington, ya que a la hora de llevarlo a la placa, no se tendrían que soldar tantos componentes y quedaría más sencillo, y con más espacio en la placa. La función que tiene este componente es amplificar la señal del  $\mu C$ , y poder excitar la bobina.

La siguiente fase a definir, es el número mínimo de pines que tiene que utilizar el  $\mu C$ : para ello se pensó que como se requería controlar 7 tiras, las que define el ULN2003, con 3 pines se podrían controlar las 7 tiras ( $2^3=8$ ). La solución empleada es usar un decodificador/demultiplexor TTL, ya que este bloque es puramente digital. Como en los decodificadores que teníamos disponibles las salidas son negadas, se requiere utilizar un integrado de puertas NOT para invertir la salida de este. Una vez conseguida esta última parte, se unirían todas las partes y quedaría como muestra la *Figura 21*.



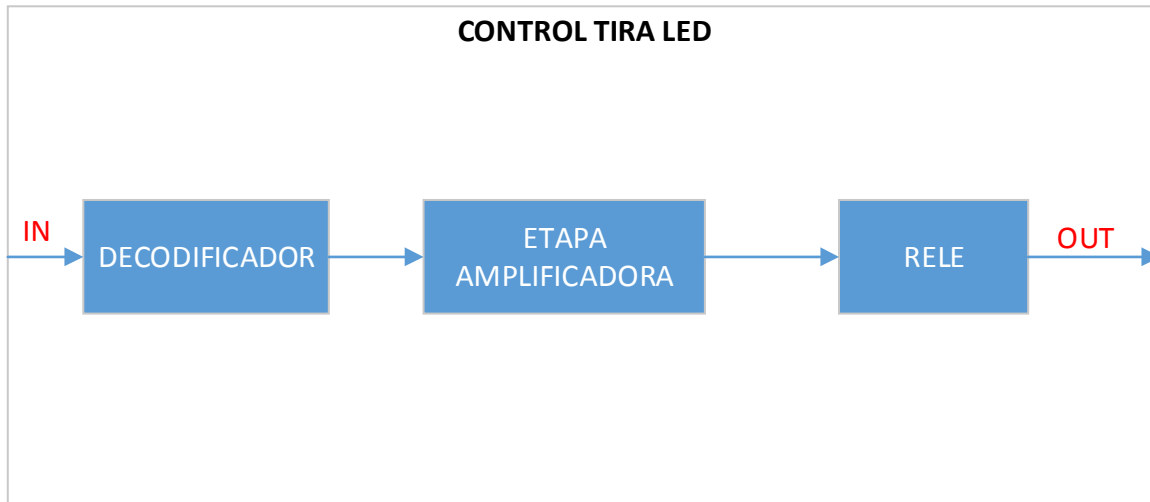


Figura 21 Bloque control tirade LEDS

- **Alternativa de diseño**

Una alternativa al relé es utilizar un amplificador operacional (AO), utilizándolo como comparador. Comparando la señal de activación de la salida del  $\mu C$  y una tensión de referencia 0V. Alimentando el AO a 12V en su terminal de alimentación positivo y 0V en su terminal negativo. Si la tensión del  $\mu C$  es mayor, la salida del AO sería 12V. Y si no 0V y no se activaría la tira. El A.O. utilizado es el TL082

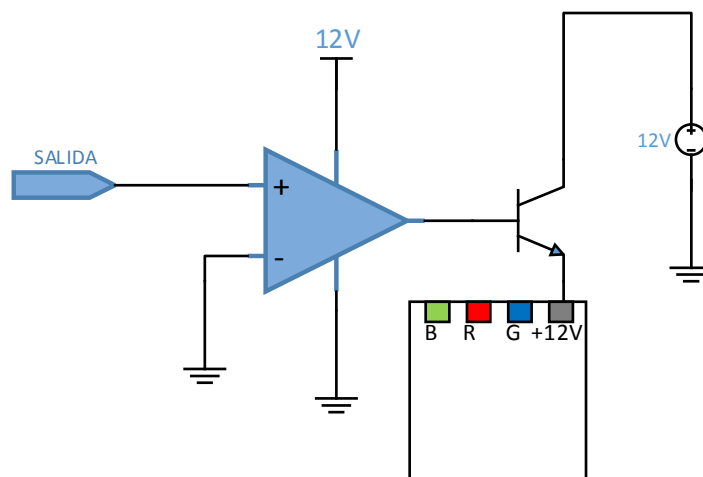


Figura 22 Control tira de LEDS alternativo

Una vez confeccionado el A.O. se necesitara un transistor para aumentar la corriente (etapa de potencia), debido a que la corriente del A.O. es insuficiente para encender la tira de leds. La corriente que envía el A.O. esta alrededor de los 5mA [17]. La tira de leds consume 90 mA, se ha decidido utilizar el transistor bipolar BC548. Se observa el esquema en la *Figura 22* [9].

Esta alternativa no se ha llevado a cabo porque ya se habían implementado los relés en el circuito.

### 2. Control motores

Para el control de los motores se utiliza un par Darlington. Ya que la corriente que da un pin digital del Atmega 328-PU de unos 40mA, y la corriente que consume un motor es alrededor de los 330mA en régimen permanente, y en su arranque 370mA. Para lograr esta corriente tenemos que amplificar la corriente que da el  $\mu$ C, trabajando entre corte y saturación con el par Darlington [10].

- **Diseño inicial**

Al comenzar se probó que la manera de controlar los motores fuese con un par Darlington TIP121. Pero se tendrían que poner 9 encapsulados y ocuparían bastante superficie de la placa, por este motivo se optó por escoger otro dispositivo para controlar los motores.

- **Diseño final**

Se buscó un driver TTL, para poder controlar los motores. Se eligió el integrado L293B [18], ya que con este integrado se podría controlar hasta 4 motores, o incluso controlar 2 motores pudiendo controlar el sentido de giro (véase *Figura 23*). Pero en este proyecto, se utilizara para controlar 3 motores, en concreto, los tres motores que habrán de activarse para transmitir la vibración a cada uno de los tubos.

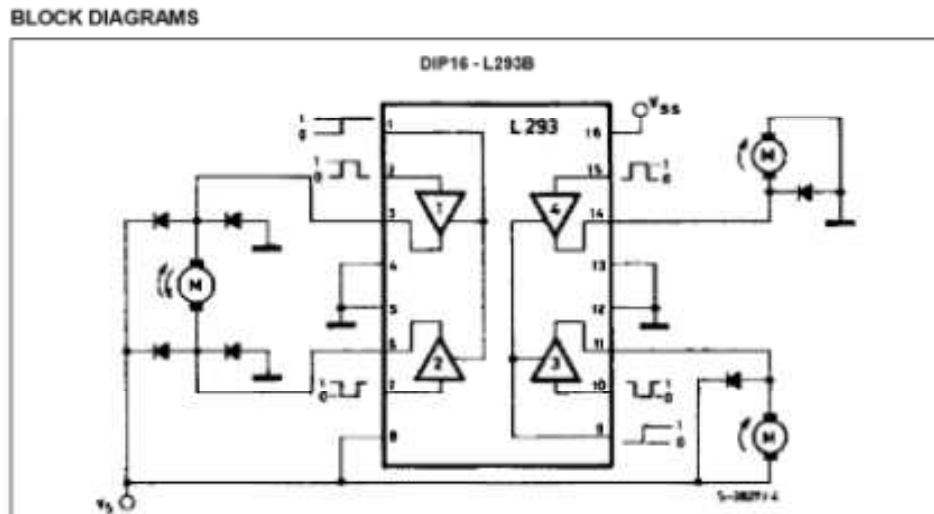


Figura 23 L293B

### 3. Control ventiladores

Para controlar los ventiladores, se diseñó el control de la misma manera que se ha empleado en primer lugar con los motores. Se utiliza un par Darlington, ya que se necesita amplificar la corriente que envía el  $\mu$ C. Se usará un TIP121 (véase *Figura 24*) [19], que es capaz de suministrar 5A, siendo el consumo del ventilador de 0.5A.

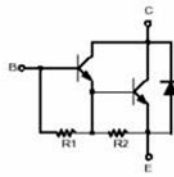


Figura 24 TIP121

El dispositivo trabaja entre corte y saturación, es decir como un interruptor, en la *Figura 25* se puede observar las distintas regiones por las que pasa un transistor bipolar. Como se aprecia en la imagen al trabajar el transistor en corte la  $I_c=0$ , por lo tanto el ventilador permanecerá parado, y al trabajar en saturación el ventilador funcionará al circular corriente por el colector.

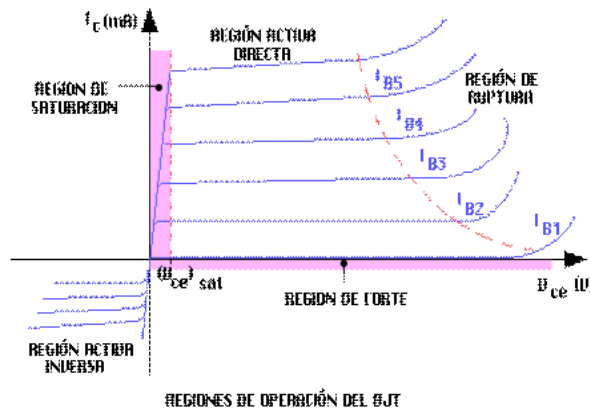


Figura 25 Regiones transistor

#### 4. Control iluminación

Por último, el control de la iluminación del T1 y T3, se confecciona atendiendo a criterios económicos. Debido a que sobran tiras de leds que se utilizaron en el T2, se utilizarán en este caso. El control de encendido de la tira se ha realizado con relés (véase *Figura 26*), igual que en el T2. Pero la excitación de la bobina se realiza mediante transistores individuales en vez de utilizar el integrado ULN2003, que contiene 7 par Darlington y no se utilizarían 4 de ellos.

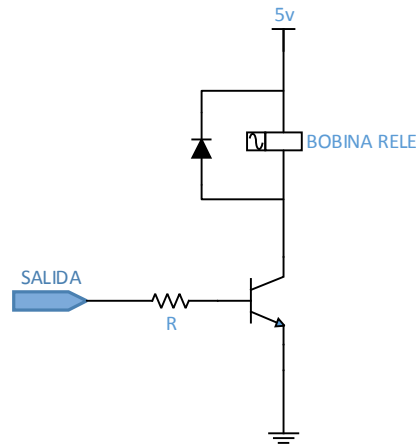


Figura 26 Control Iluminación

### 2.2.5 Bloque 4. Alimentación

En este sistema hay múltiples dispositivos, debido a esta variedad, la alimentación de cada uno varía. Pero en este caso, se intentó restringir en la medida de lo posible el número de distintas tensiones de alimentación. Se pueden diferenciar 3 tensiones como se observa en la *Figura 27*.

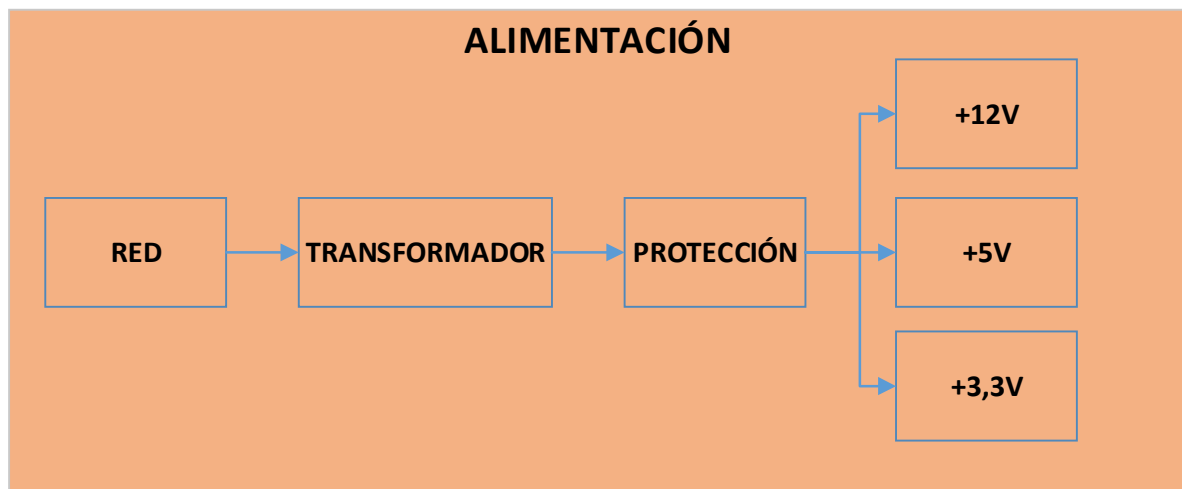


Figura 27 Bloque Alimentación

La primera de ellas es de 12V, que se obtendrán de la fuente de alimentación que se adquirió. Esta fuente se conecta a la red, y transforma la tensión de red, en 12V DC. Estos 12V se emplearán para alimentar a los ventiladores y tiras de Led.

Otra tensión necesaria es 5V, para alimentar al  $\mu C$  y todos los dispositivos TTL. Esta tensión se obtendrá a través de un regulador de tensión. El regulador de tensión elegido es el 78S05.

Finalmente, se necesitan 3,3V para alimentar los motores. Para ello, se utilizará el regulador LM317T. Otra alternativa válida, sería -utilizar un diodo zéner. Esto conllevaría cambiar el regulador de tensión 7805, por uno que emita más corriente como por ejemplo el 78T05, que envía hasta 3A. Esto se debe a

que el diodo zéner se colocaría a la salida de 5V, y la corriente que necesitan los motores es 1A, y sería insuficiente si estuviese el 7805.

### 2.2.6 Bloque 5. Salidas

Tras el acondicionamiento de las salidas, estas se llevan a un conector hembra que se encuentra en la parte anterior de la caja. Posteriormente, se conectarán 3 mangueras que conectarán con las 3 cajas. Y así poder conectar con los actuadores eléctricos (*Figura 28*).

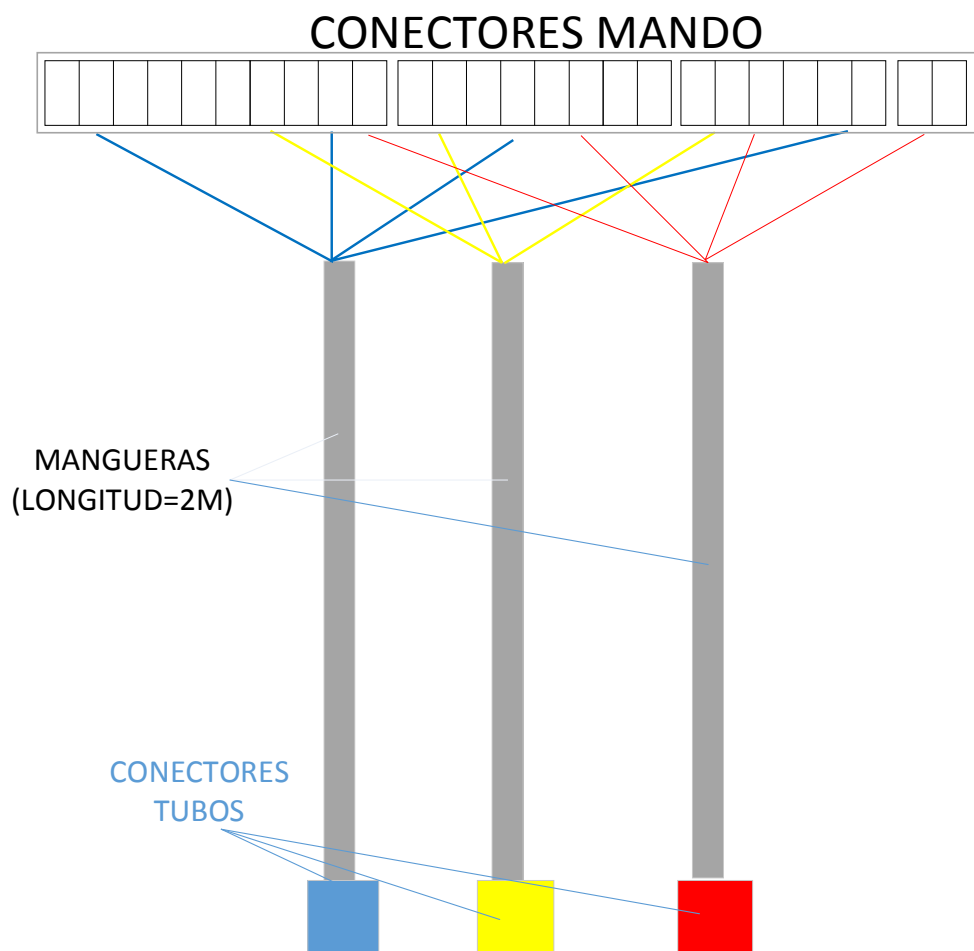


Figura 28 Salidas

## 2.3 Diseño del módulo de tubos

### 2.3.1 Aspecto global del sistema

El módulo de tubos está dividido en 3 partes, cada 1 de estas partes, es un tubo transparente. Están claramente diferenciados por el color de cada uno, véase la *Figura 29*. Además, se caracterizan por tener un comportamiento diferente. Debido a los diferentes comportamientos sus constituciones serán distintas, salvo el tubo 1 y 3 que son prácticamente iguales.

Una visión general de cómo es este bloque se aprecia en la *Figura 30*.

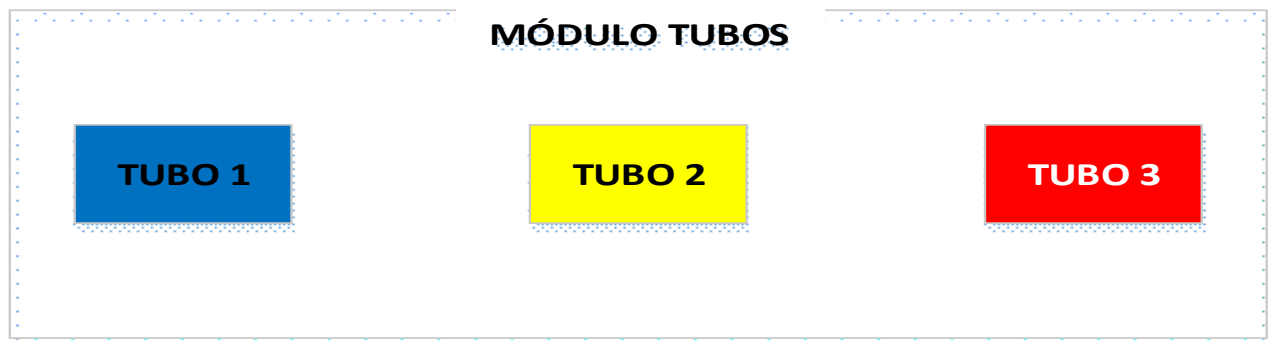


Figura 29 Bloque Módulo Tubos

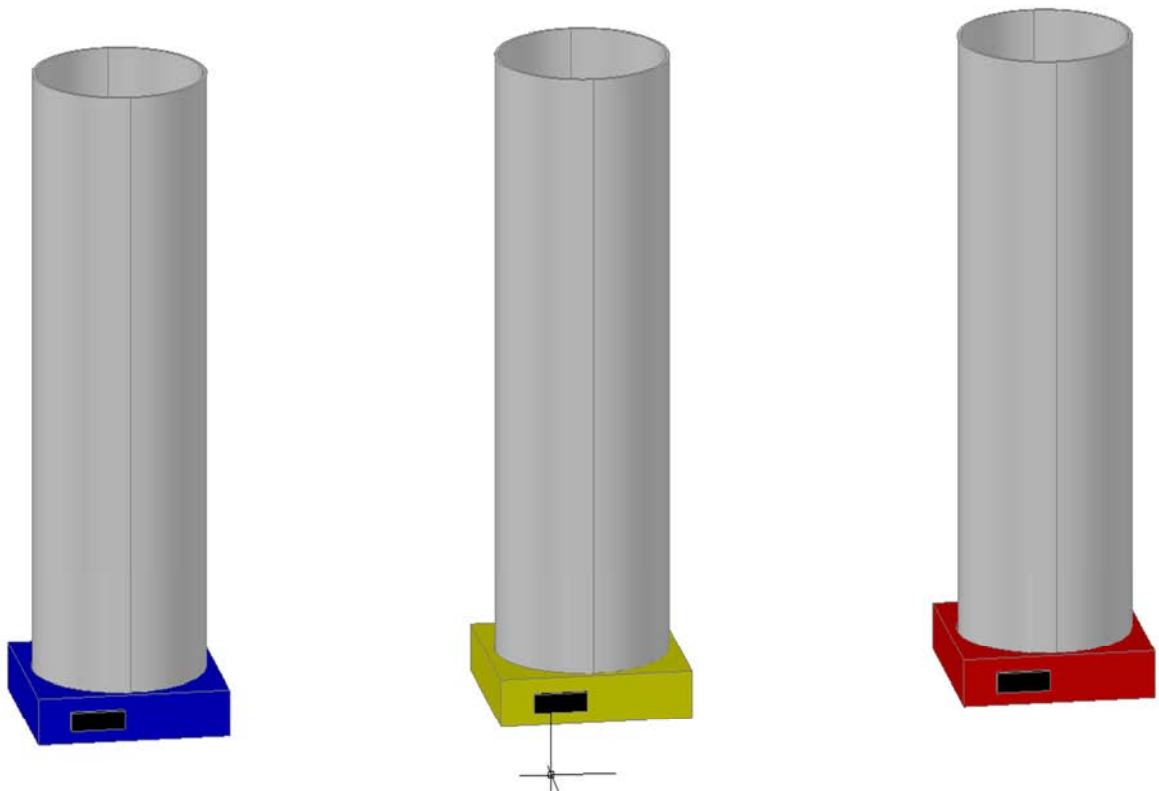
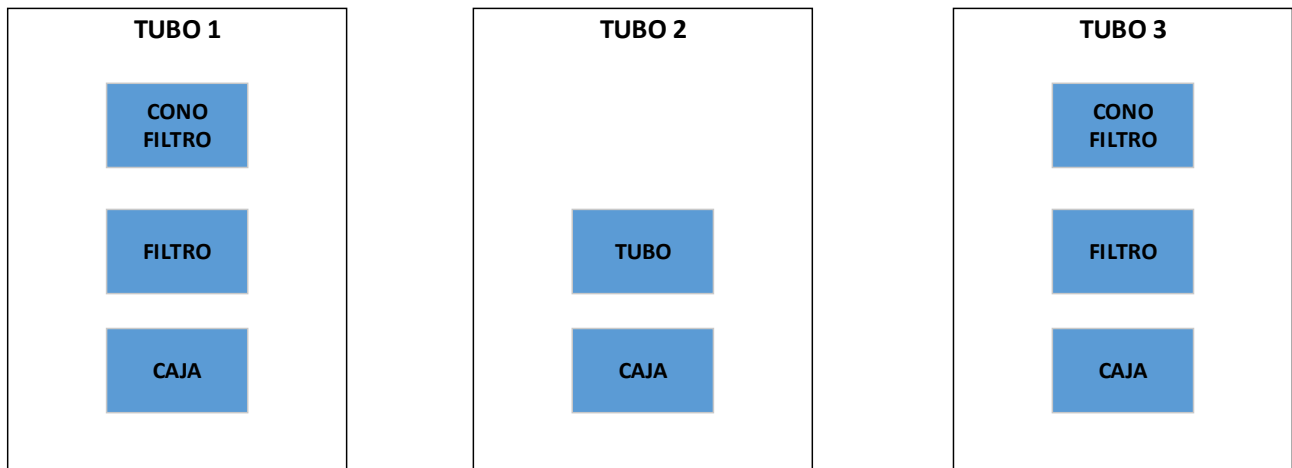


Figura 30 Bloque Módulo Tubos 3D

- **Parte mecánica**

Cada tubo se diferencia por poseer unos elementos mecánicos, que se diseñan en base al comportamiento que debe tener cada tubo. Los elementos que los constituyen se muestran en la *Figura 31*.



**Figura 31 Bloque mecánico Módulo Tubos**

Cada tubo contiene una caja donde se le acoplara un conector y será la base del tubo. Los tubos 1 y 3 contienen unos filtros para no dejar pasar el confeti al interior de la caja. El tubo 2 contiene un tubo interior concéntrico donde se colocarán las tiras de leds.

Cada caja tiene un mecanizado para poder acoplar el conector, para poder conexionar el mando y el tubo.

- **Parte electrónica**

La parte electrónica que contiene este módulo, son las conexiones de las salidas que provienen del mando. Estas conexiones se realizan a través de 3 mangueras, que contienen conectores en sus extremos para conectar las salidas del mando y los tubos. La conexión de los tubos permite conectar los motores, ventiladores y tiras de Led. Como se muestra en la siguiente *Figura 32*.

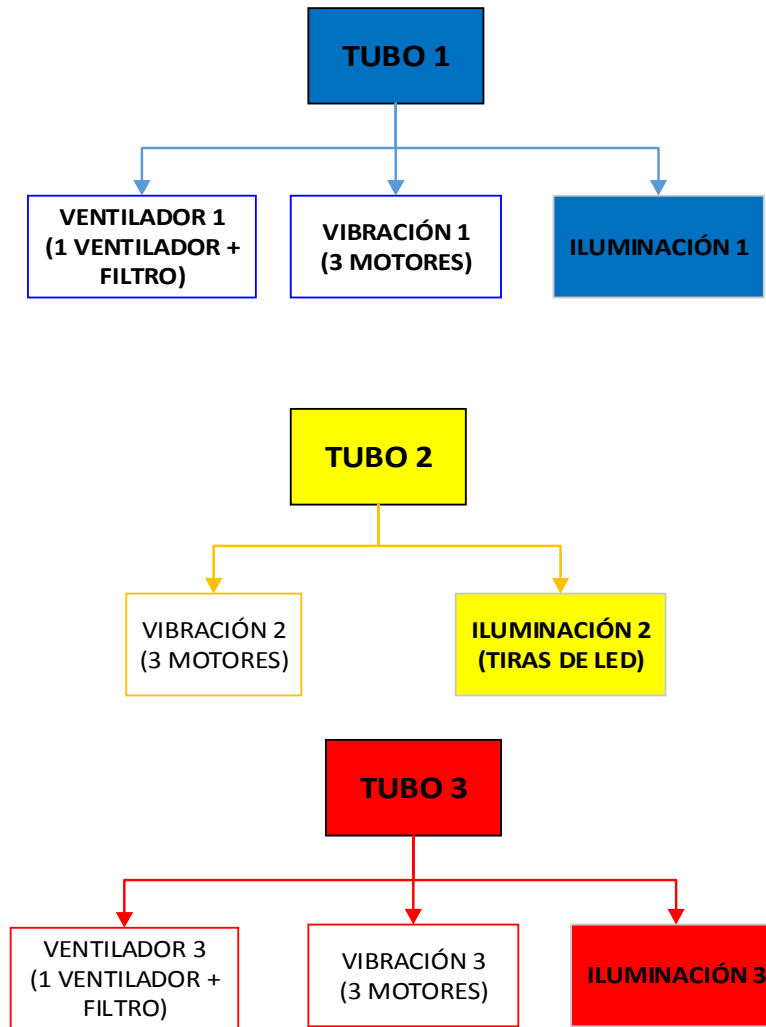


Figura 32 Bloque electrónico Módulo Tubos

### 2.3.2 Bloque 1. Ventiladores y rejillas

- **Ventiladores**

Se instala un ventilador para poder levantar los materiales que se depositan en los T1 y T3. Los aspectos que se han tenido en cuenta para la elección del ventilador, son la tensión de alimentación, el consumo, las dimensiones, el precio y el caudal. Este último aspecto, es uno de los más importantes y el que determina la validez del ventilador.

El caudal tiene que ser suficientemente elevado, como para poder elevar el confeti.

En la rejilla se ha colocado un cono que hará que los papeles o plumas no se queden en el centro, ya que en el centro del ventilador no se ejerce ningún empuje por ubicarse el eje y motor del mismo, lo que provocaría la acumulación de elementos sin poderlos desplazar, es decir no se observaría la estimulación visual de los objetos suspendidos en el aire. El cono ubicado sobre el centro permite que los elementos móviles resbalen por él y caigan en la parte donde los alabes hacen su función.



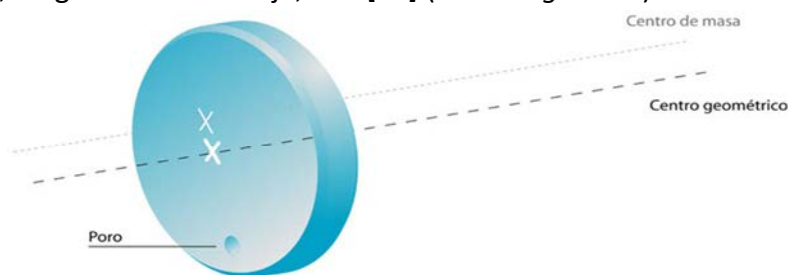
### 2.3.3 Bloque 2. Motores de vibración

Una de las partes del proyecto que más ha costado conseguir es la vibración de los tubos. En un primer momento, se estudió utilizar motores vibratorios. Pero finalmente no se usaron por su elevado precio frente a la alternativa final usada. El coste de los motores vibratorios eran de 5€/unidad haciendo un total de 75€ (portes incluidos), frente a los que se han usado 2€ unidad haciendo un total de 18€, se ha consiguiendo un ahorro de 57€.

El primer objetivo que se plantea pues es conseguir hacer vibrar un motor, consiguiendo una vibración óptima que se transmita al tubo.

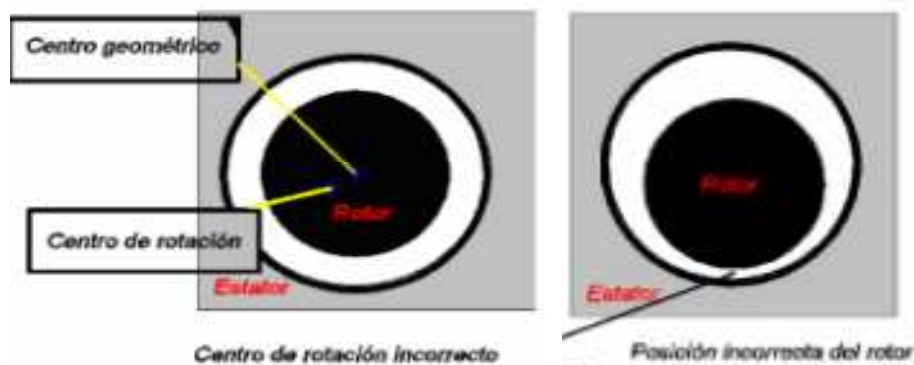
La vibración de un motor se ocasiona debido a fallas mecánicas, eléctricas y fallas de enlace de potencia. En este proyecto, se ha conseguido la vibración de los motores a través de las fallas mecánicas de un motor, debido que es uno de los defectos más fáciles de conseguir en un motor.

Las fallas mecánicas se ocasionan por desbalance mecánico. El desbalance mecánico, se origina al no coincidir el centro de masa y su centro geométrico, produciendo “oscilaciones importantes en el par instantáneo requerido por el motor”. Es originado por excentricidad del rotor, falta de homogeneidad en las partes coladas, carga excesiva del eje, etc. [11] (Véase *Figura 33*).



**Figura 33 Desbaalance mecánico**

“La excentricidad se produce cuando la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor, el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica” [11]. Se puede observar en la *Figura 34*.



**Figura 34 Excentricidad**

Para que se produzcan estos defectos en el motor, la solución escogida es colocar una pieza excéntrica en el eje, para descompensarlo. Esta pieza se ha fabricado con la impresora 3D. Posteriormente, se coloca en el eje del motor para desequilibrar el eje y producir la vibración.

Se han colocado 3 motores porque se consigue una vibración apreciable. Si se llegase a utilizar un cuarto, esto supondría un coste mayor, a parte de un mayor consumo del sistema, y tener que cambiar la distribución de los reguladores de tensión. Los tres motores se distribuyen sobre la superficie y en la parte inferior del tubo, ubicándose por ensayo y error hasta encontrar la posición idónea en cuanto a la transmisión de la vibración.

### 2.3.4 Bloque 3. Tiras de LEDS

Uno de los efectos destacados a realizar, es conseguir el efecto de subida y bajada mediante la iluminación de unos dispositivos luminosos. Para ello, utilizaremos 7 tiras de LEDS RGB. Se irán iluminando alternativamente haciendo el efecto de subida y bajada. La disposición de las tiras de LEDS será en posición horizontal por el interior de un tubo, como muestra la *Figura 35*.



**Figura 35 Tira de LEDS**

### 2.3.5 Bloque 4. Iluminación

Finalmente, para obtener la iluminación (explicado en el apartado 4 del 2.2.4), se utilizarán tiras de LEDS, que se colocarán en el interior de las cajas de los tubos T1 y T2, para poder iluminar el tubo, según los colores asociados a los tubos.

## Capítulo 3. Implementación y pruebas iniciales

### 3.1 Software de microcontrolador

El código realizado del  $\mu\text{C}$  se estructura bajo un programa principal, para poder ser leído y entendido más fácilmente. Dentro de este programa principal hay varios procesos que se irán descomponiendo poco a poco para su mejor entendimiento.

- **PROGRAMA PRINCIPAL**

El programa principal se estructura de la siguiente manera (véase *Figura 36*).

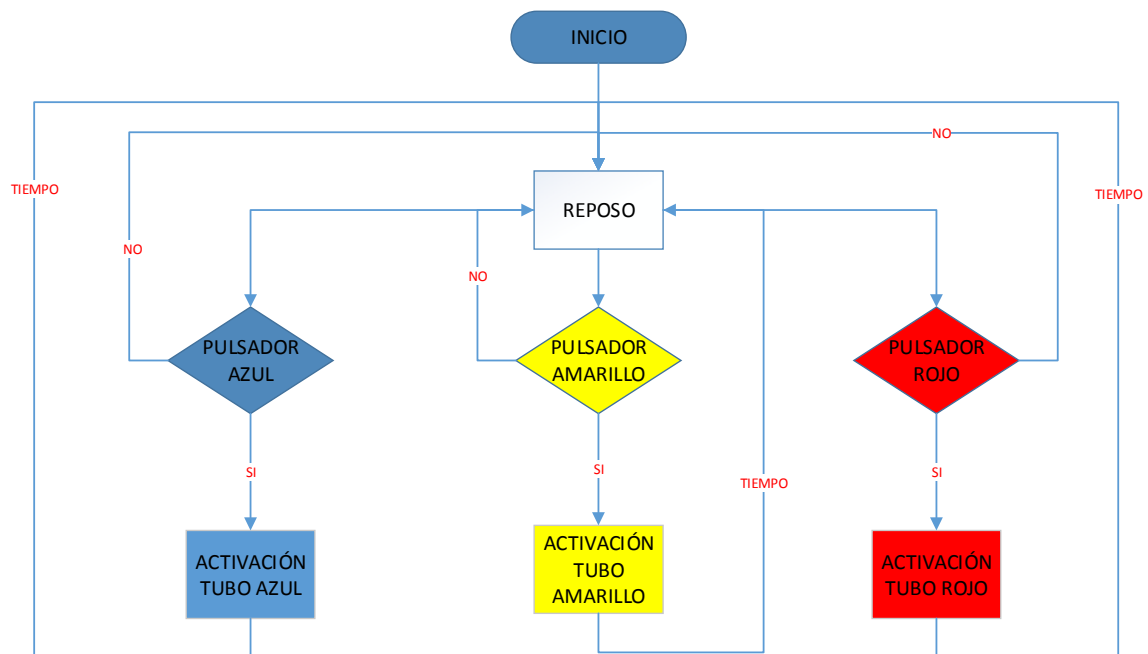


Figura 36 Programa principal

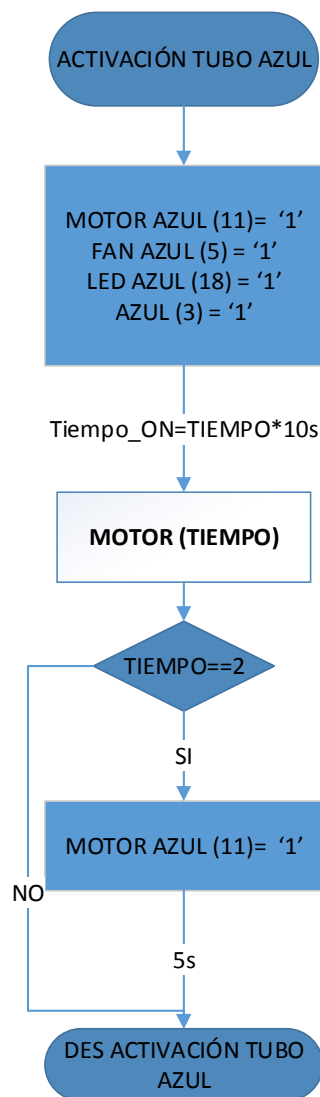
Este programa principal consiste en que en el momento que se enciende el sistema, el sistema permanece en un estado de reposo. Se sale de este estado de reposo cuando se pulsa 1 de los 3 pulsadores. Una vez pulsado un pulsador, el sistema realizará un proceso que tendrá un tiempo determinado. Este tiempo se define mediante una función.

- **PROCESOS**

El programa que ejecuta el microprocesador está compuesto de varios procesos, que se irán detallando uno a uno. Una vez que se ha pulsado uno de los 3 pulsadores luminosos, se entra dentro de su respectivo proceso de activación del tubo.

En primer lugar se detallará el proceso de activación del tubo azul.

- **Proceso activación tubo azul**



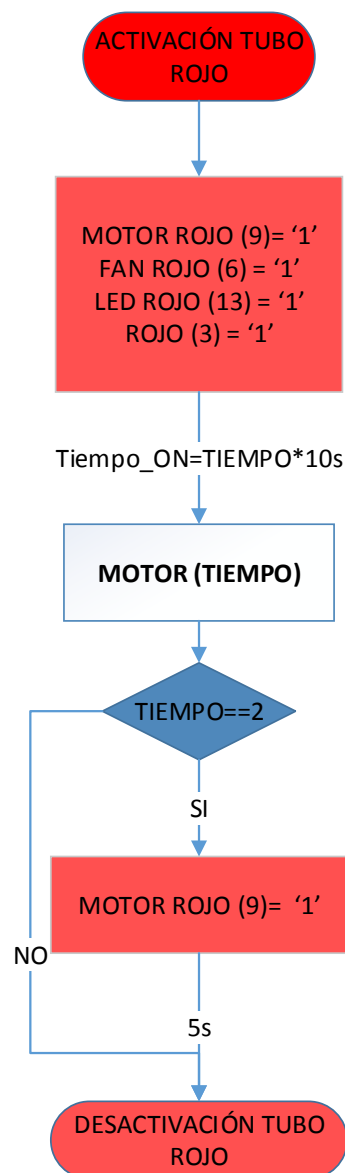
**Figura 37 Proceso tubo azul**

Mediante la *Figura 37* se observa el comportamiento general de este tubo. Inicialmente se activan las salidas de los motores del tubo azul, y su ventilador, además de su iluminación. Esta activación de las salidas tendrá un tiempo determinado por el selector, en este caso serán o 10s o 20s. Seguidamente se empezará a ejecutar una función que hemos nombrado MOTOR.

Una vez terminada la función MOTOR, si el selector de tiempo estaba en la posición '1' se activará durante 5s la señal del pin11, y se finalizará el proceso. Si el selector de tiempo estaba en la posición '0', finaliza el proceso y vuelve al estado reposo donde se desactivan todas las salidas.

- **Proceso activación tubo rojo**

Este proceso contiene las mismas instrucciones que el tubo rojo, únicamente variando las salidas, como se observa en la *Figura 38*.



**Figura 38 Proceso tubo rojo**

- **Proceso activación tubo amarillo**

La *Figura 39* muestra el proceso de activación del tubo amarillo. Una vez que comienza el proceso se activa la salida de los motores del tubo amarillo.

El número de veces que se ejecutará el efecto de subida y bajada de las tiras de leds viene determinado por la función selector de tiempo. Posteriormente se activarán las tiras de leds a través de las salidas 7, 8 y 12, la activación de cada tira la precisa la siguiente *Tabla 3*.

SALIDA 7 (A0)	SALIDA 8 (A1)	SALIDA 12 (A2)	TIRA
LOW	LOW	LOW	TIRA 1
LOW	LOW	HIGH	TIRA 2
LOW	HIGH	LOW	TIRA 3
LOW	HIGH	HIGH	TIRA 4
HIGH	LOW	LOW	TIRA 5
HIGH	LOW	HIGH	TIRA 6
HIGH	HIGH	LOW	TIRA 7
HIGH	HIGH	HIGH	OFF

**Tabla 3 Selección de tira**

La elección de las tiras y el número de veces que se ejecutan las subidas y bajadas, se realizan con un bucle 'for'.

Para obtener el color de la tira de leds, en este caso se activan las salidas 3 (Rojo) y 2 (Verde), véase *Tabla 1*.

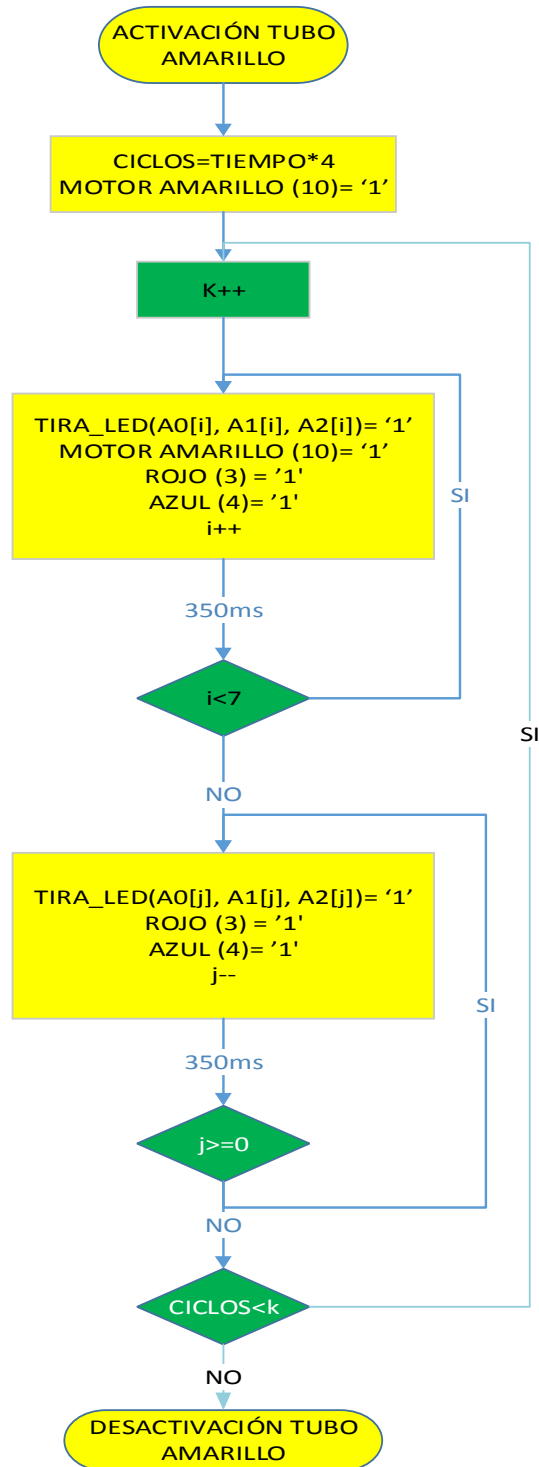
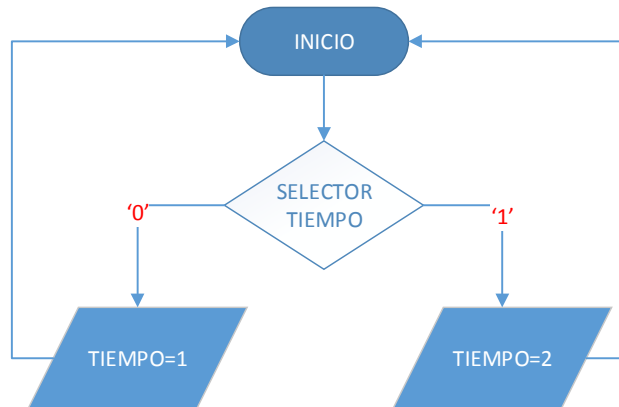


Figura 39 Proceso tubo amarillo

- **FUNCIONES**

Se han implementado las siguientes funciones para un mejor entendimiento del programa principal.

- **SELECTOR TIEMPO**



**Figura 40 Función selector tiempo**

La función selector de tiempo consiste en devolver el valor entero '1' o '2', según en qué posición se encuentre el interruptor de selector de tiempo. (Véase *Figura 40*), de modo que si es '1' el tiempo en cuestión es de 2 y si es '0', de 1.

- **FUNCIÓN MOTOR**

Se ha creado esta función para variar la vibración del tubo, (véase la *Figura 41*). En este caso la salida se utilizará como una señal PWM, la cual controlará la velocidad de los motores. Esta señal irá incrementando el voltaje 0.02V (5V/256) cada 10ms hasta llegar a su límite, esto se traducirá en que se irá aumentando la corriente, lo que hará que se incremente la velocidad del motor progresivamente. Para que no sea constante siempre la velocidad (vibración) y además poder controlar los picos de corriente. Una vez alcanzado este límite en este caso 5V (valor 256), la señal PWM disminuirá el voltaje gradualmente hasta 0V. Se repite este ciclo dos veces o cuatro dependiendo de la posición del selector. Esta función depende únicamente de la posición del selector de tiempo y del proceso que se utilice.



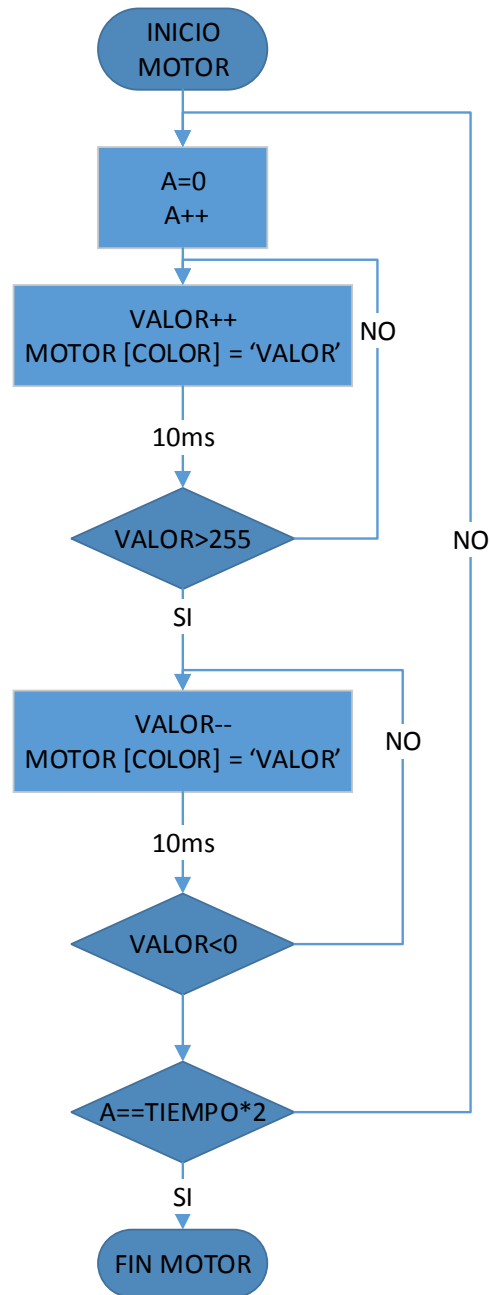
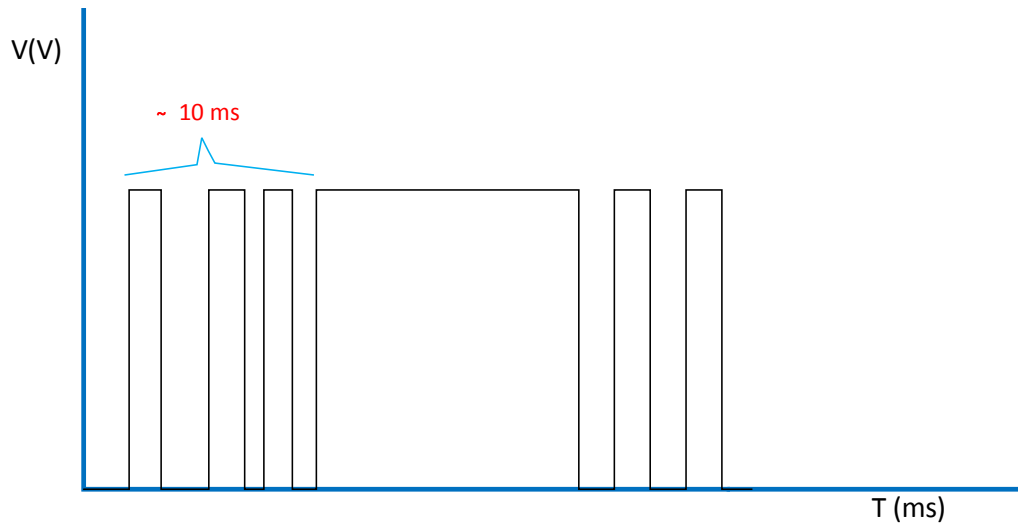


Figura 41 Función Motor

Esta función está incorporada en los procesos de activación de los tubos rojo y azul.

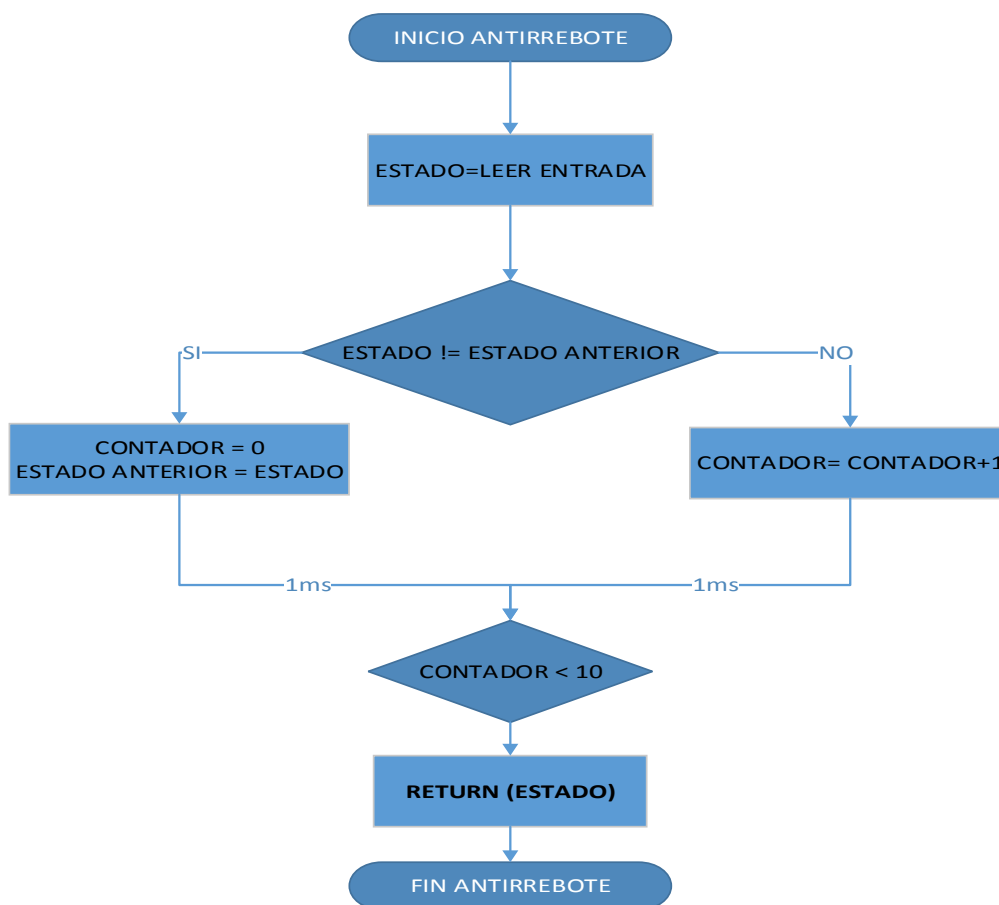
### ○ ANTIRREBOTE

Se utiliza esta función para solucionar un problema que ocurren en todos los pulsadores. Al ser un dispositivo mecánico que incorpora en su interior un muelle, al presionar el pulsador, ocurre el siguiente efecto que se observa en la *Figura 42*. Estas oscilaciones iniciales se originan por el choque elástico entre contactos. Estas oscilaciones tienen una duración alrededor de 10ms [12].



**Figura 42 Oscilación antirrebote**

Para evitar una mala lectura de la entrada del  $\mu C$ . Este problema de los pulsadores se puede evitar mediante software o hardware. Se ha optado por crear una función en el software, que devolverá un valor que indicara si está presionado el pulsador o no (Figura 43).



**Figura 43 Función antirrebote**

- **Alternativas de diseño**

En un primer lugar el proceso de activación del tubo amarillo, se realizó de manera tal, que una vez finalizase un ciclo de subida y bajada, se cambiaría de color.

Para la activación de las salidas durante intervalos de tiempo determinados, se ha hecho uso de la función Delay. Se ha empleado esta función por un simple hecho de facilidad al programar, ya que el proceso no tiene que estar pendiente de ninguna interrupción mientras este se ejecuta.

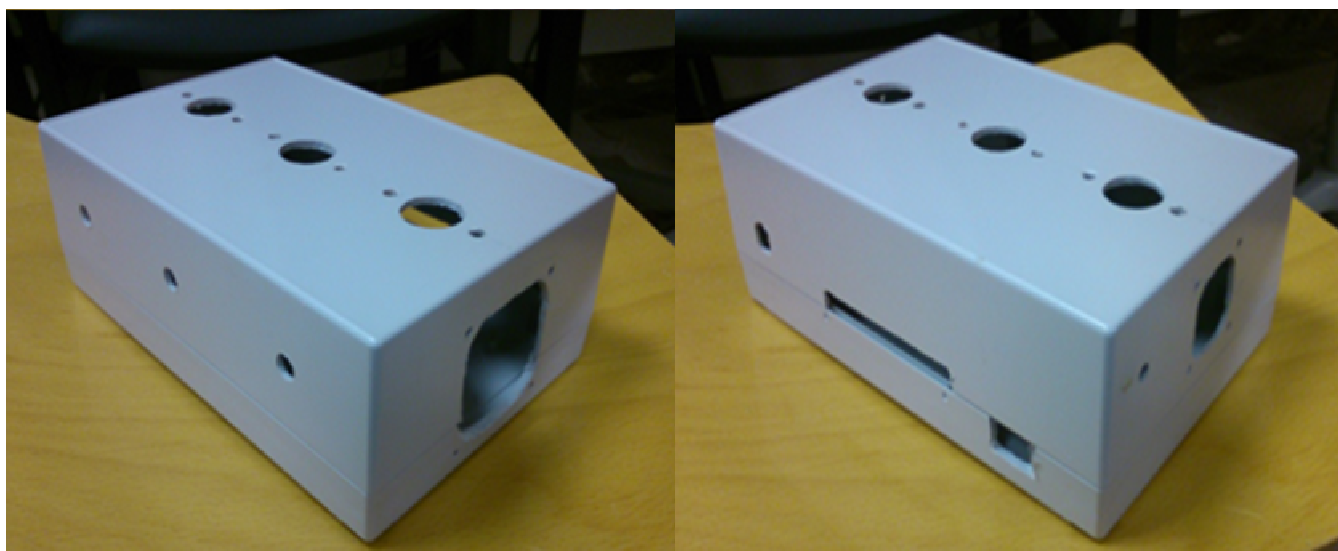
Si se hubiese tenido este problema, una solución sería emplear la función millis(), es una función predefinida de Arduino, que devuelve los milisegundos que han pasado desde que se arrancó el  $\mu\text{C}$  [8].

### 3.2 Construcción mecánica del sistema (impresora 3D)

La construcción del sistema se ha llevado a cabo mediante el mecanizado de algunas piezas adquiridas, y otras se han fabricado a través de una impresora 3D, previamente haciendo el diseño en 3D con la ayuda de **AutoCad** y **GoogleSketchup**. Para la construcción de las piezas en la impresora 3D, se han tenido que realizar por partes, por el gran tamaño de estas, ya que no entraban en la plataforma de la impresora.

#### ○ **CONSTRUCCIÓN MANDO**

Para construir el mando, se adquirió una caja gris de ABS con las siguientes dimensiones 220x145x80 mm. Posteriormente, se mecaniza la caja según *Anexo A.2*, para colocar en ella los pulsadores luminosos, el selector de tiempo, el interruptor de encendido, los conectores Jack, el ventilador de refrigeración de la caja con su filtro y una rejilla, como se puede observar en la *Figura 44*.



**Figura 44 Caja mecanizada**

Una vez mecanizada la caja, se coloca la placa en su interior y se conectan todos los elementos eléctricos que están en la caja. Se obtiene el resultado que se observa en la *Figura 45*.



Figura 45 Mando completo

- **CONSTRUCCIÓN MÓDULO TUBOS**

En este bloque del sistema es donde hemos utilizado la impresora 3D, para construir las piezas que lo constituyen.

- **TUBOS**

Se adquirió un tubo de policarbonato transparente de 2 m (pedido mínimo), de las siguientes dimensiones: 15 cm diámetro exterior y 14,6 cm diámetro interior. Se cortaron 3 partes de 50 cm. Se ha llevado a cabo 2 mecanizados distintos, uno de ellos según para los tubos azul y rojo, obteniéndose el resultado de la *Figura 46*. El segundo mecanizado, alcanzando el resultado de la *Figura 47*.



Figura 46 Mecanizado T1 y T3



**Figura 47 Mecanizado T2**

Se han realizado los mecanizados para poder acoplar los ventiladores al tubo, las conexiones y las cajas de plástico fabricadas.

- **CAJA TUBO**

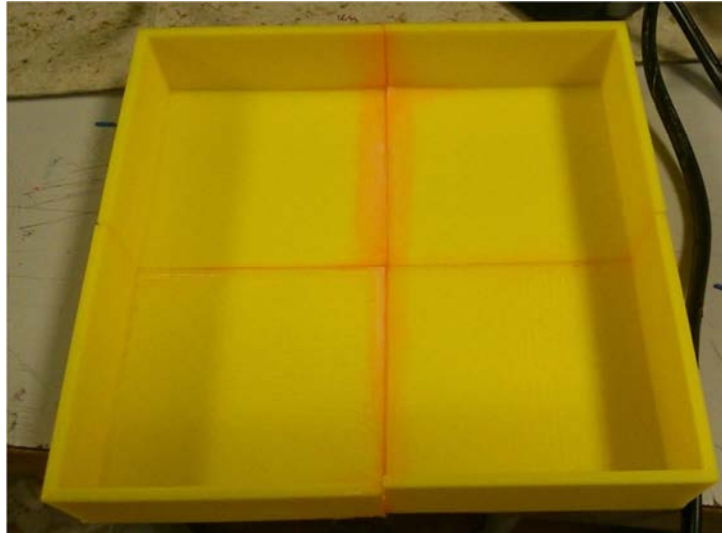
La construcción de la caja se realiza en 2 partes:

La primera pieza que se fabrica es una caja de las dimensiones 166x166x33 mm. La primera vez que se imprimió la pieza, se elaboró en dos partes. Al ser tan grande la pieza se agrietó y se acabó partiendo, entonces se optó por realizarla en 4 partes idénticas (Anexo A.4), como la que se muestra en la *Figura 48*.



**Figura 48 ¼ Caja**

La unión de las piezas se efectúa utilizando acetona y rematando la unión con pegamento termofusible, el resultado final se muestra en la *Figura 49*.



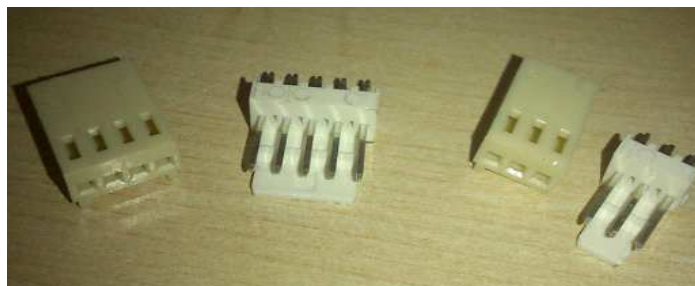
**Figura 49 Unión cajas**

La segunda pieza de la caja es una tapa *Figura 50*, que se realiza en dos partes, y se ha llevado a cabo el mismo procedimiento anterior para su unión.



**Figura 50 Tapa**

Una vez unidas las piezas se lleva a cabo el mecanizado de la caja para acoplar el conector y así poder conexionar con el mando. Se utilizarán los conectores 3940 Series LEOCO, con sus pines correspondientes (véase *Figura 51*) por su reducido tamaño, y coste económico, su distribución está determinada por la *Tabla 4*.



**Figura 51 Conectores cajas**

CAJA AZUL	Cantidad	CAJA AMARILLA	Cantidad	CAJA ROJA	Cantidad
3 pines	1	2 pines	2	4 pines	1
6 pines	1	3 pines	2	5 pines	1
		5 pines	1		

Tabla 4

Se ha elegido el tipo de conector atendiendo a organizar las conexiones, por ejemplo los conectores de 3 pines se han utilizado para agrupar las conexiones de salida de los 3 motores. Terminada la caja de mecanizar, se unen con pegamento termofusible la caja y la tapa, y se obtiene el resultado final. Se aprecia en la *Figura 52* las 3 cajas construidas.

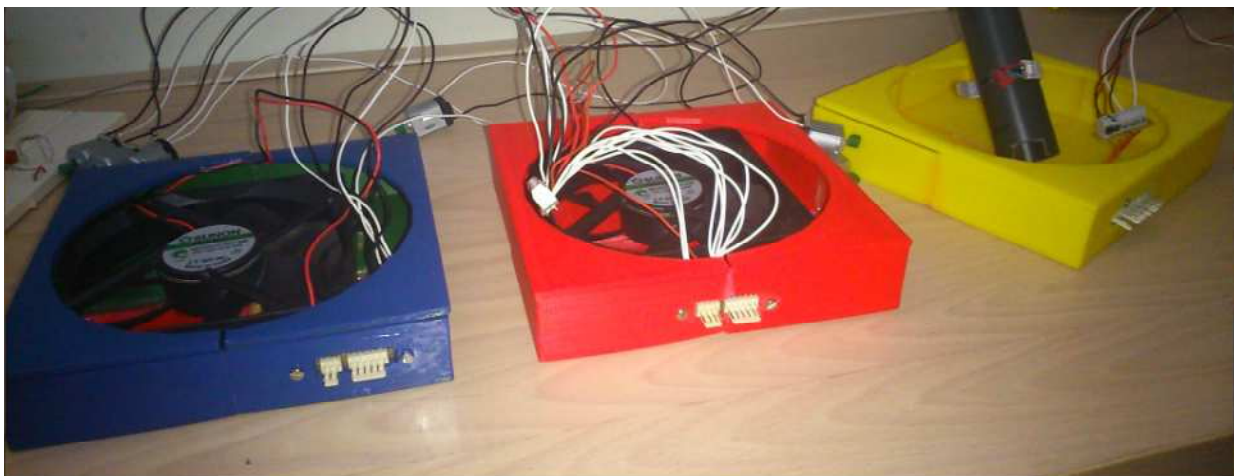


Figura 52 Cajas terminadas

- **FILTRO TUBO:**

La función que tiene el filtro es que no se cuele por dentro del ventilador y de la caja ningún papel ni pluma. El filtro del tubo se compone por una pieza en forma de arandela construida con la impresora 3D. La construcción de esta, se realiza en dos partes. Como se puede observar en la *Figura 53*.

La pieza se ha fabricado para que entre en el tubo de forma ajustada, teniendo incluso que hacer fuerza para poder moverla. En un principio se crearon los resaltos de la pieza para poder acoplarlos al tubo con tornillos y tuercas, pero finalmente se ha desistido de esta opción, ya que el filtro estará por encima del ventilador, permaneciendo en contacto físico, sin tener la necesidad de fijarlo al tubo





Figura 53 Pieza filtro

Posteriormente, se unirá la pieza fabricada a una malla. Se unirá mediante tornillos, arandelas y tuercas. El resultado final se muestra en la *Figura 54*.



Figura 54 Pieza filtro y malla

### ▪ CONO

Se ha construido un cono de 40mm de diámetro y 30mm de altura, como se observa en la *Figura 55*. Este se colocará justo en el centro del filtro, exactamente sobre el círculo central del eje y motor del ventilador, y se unirá a él mediante pegamento termofusible.

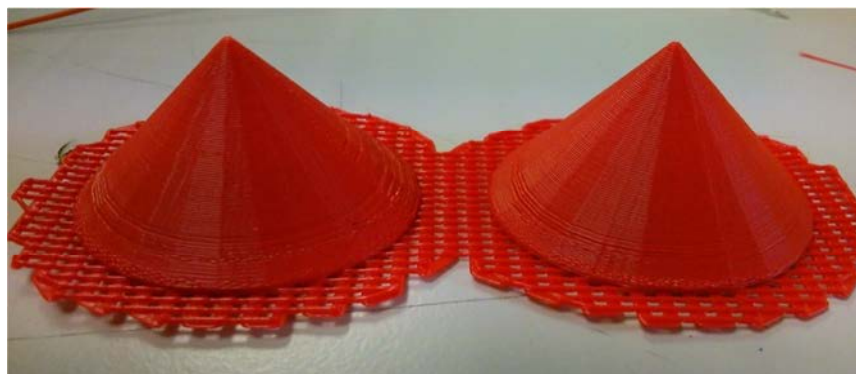
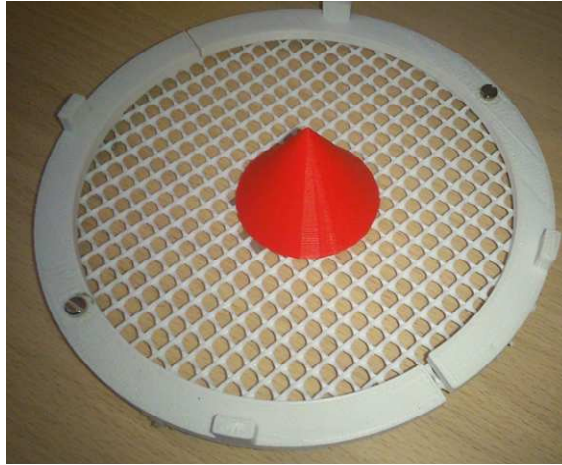


Figura 55 Cono filtro

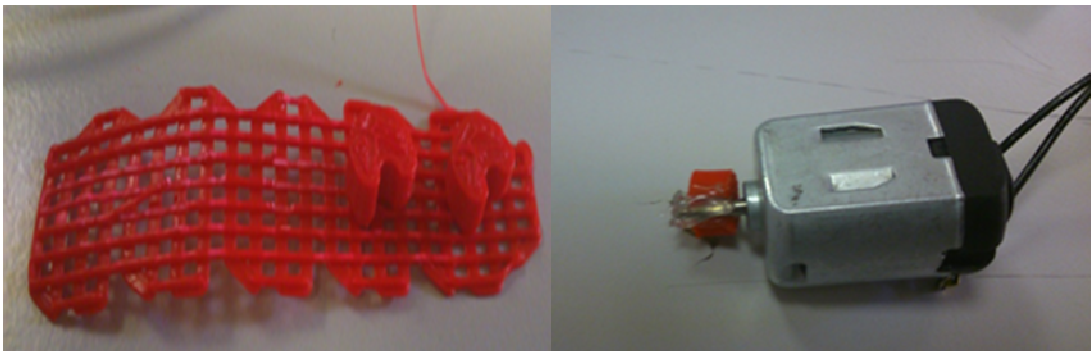
Una vez unidos el cono y el filtro, se tendrá el producto final (*Figura 56*). Al pararse el ventilador, el cono hará resbalar por su superficie cualquier papel y pluma, al exterior del filtro, para que cuando el ventilador comience otra vez a funcionar pueda mover todos ellos.



**Figura 56 Filtro completo**

- **PIEZA MOTOR**

Para conseguir la vibración de los motores se han tenido que construir unas pequeñas piezas, que se unen al eje del motor con pegamento termofusible (véase *Figura 57*).



**Figura 57 Motor vibrador**

- **COLOCACIÓN MOTORES:**

Se han colocado los motores en el interior del tubo, con una disposición que se ve en la *Figura 58*, donde se distribuye mejor la vibración en el tubo.



Figura 58 Distribución motores

- **TIRA DE LEDS**

Para la colocación de las tiras de leds, se adquirió un tubo de PVC de 50 cm en el que se han realizado 7 taladros según el *Anexo A.3*. Este tubo debe colocarse en el interior del tubo transparente, y concéntrico a él. Se diseña para poder introducir el mazo de cables de las tiras de leds. La tira de LEDS se puede observar en la *Figura 59*. Una vez introducidas las tiras de leds, se fijan de manera horizontal utilizando un soporte de plástico y pegamento Loctite, obteniéndose el resultado de la *Figura 59* y *Figura 60*.

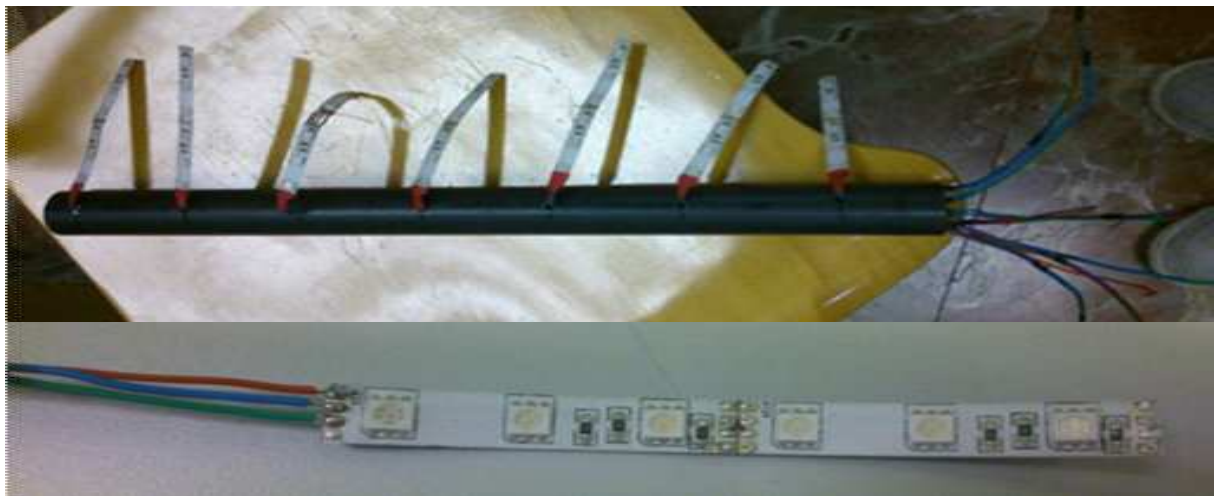


Figura 59 Tubo tira de LEDS I



Figura 60 Tubo tira de LEDS II

- **CONEXIONES ELEMENTOS ELÉCTRICOS**

Las conexiones de los elementos eléctricos vienen determinadas según *Anexo B.6*, *Anexo B.7* y *Anexo B.8*.

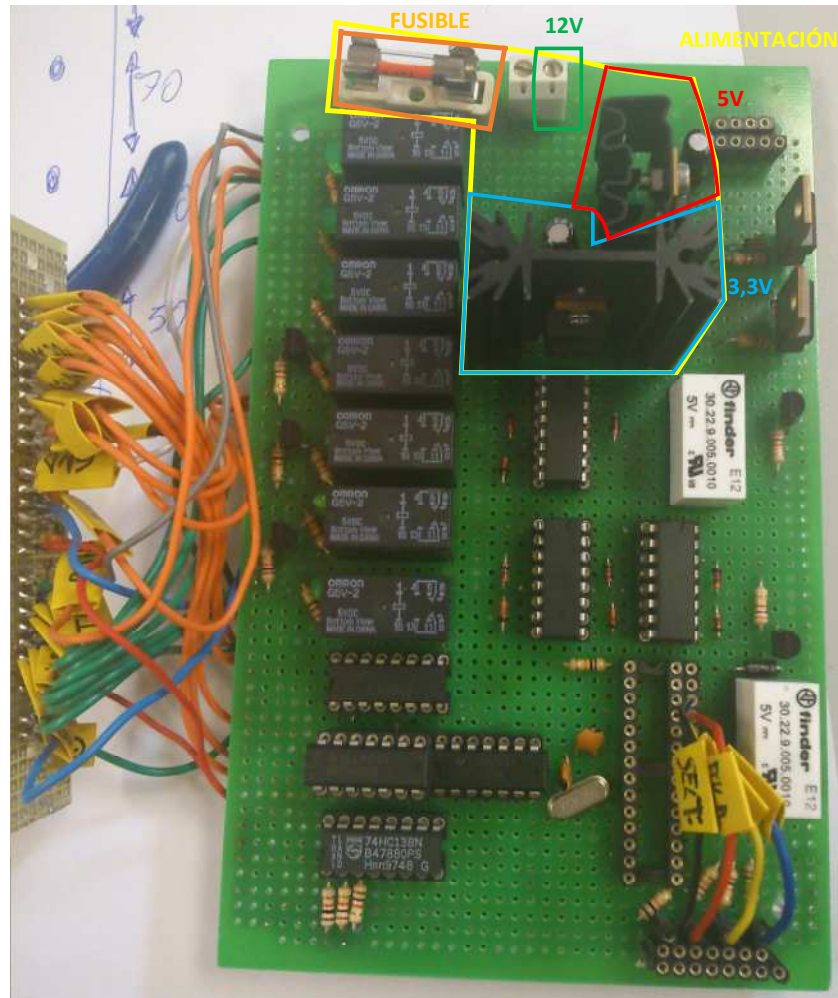
### 3.3 Implementación de la electrónica

La implementación de la electrónica se probó inicialmente en una placa protoboard. Finalmente, se trasladó a una placa por puntos con las uniones de las conexiones mediante soldadura. Se explicará la implementación de la electrónica por cada bloque que constituye el mando según la *Figura 13*.

- **ALIMENTACIÓN**

Las conexiones vienen determinadas por el esquema eléctrico del *Anexo B.4*. En la *Figura 61* se observa las diferentes zonas que componen el bloque alimentación





**Figura 61 Zona amarilla bloque alimentación**

Contiene los siguientes elementos:

- ❖ Fuente de alimentación 12V 3A.
- ❖ Conector alimentación Jack Hembra 5.5-2.5mm.
- ❖ Interruptor negro.
- ❖ Fusible 5x20 3A.
- ❖ Regulador de tensión 7805.
- ❖ Regulador de tensión variable.
- ❖ 3 condensadores electrolíticos 10  $\mu$ F.
- ❖ 2 resistencias, 1 de 220 $\Omega$  y 1 de 150 $\Omega$ .

- **Fuente de alimentación**

Se ha escogido una fuente de alimentación de tensión de salida 12 V y 3A, se muestra en la *Figura 62*, debido a que se trabajará con tensiones de 12 V y el amperaje lo determina el consumo del sistema (*Anexo D.1*).



**Figura 62 Fuente de alimentación**

- **Conector alimentación**

Se ha utilizado un conector Jack Hembra 5.5-2.5mm (véase *Figura 63*), para conectar el circuito con la fuente de alimentación.



**Figura 63 Conector Jack alimentación**

- **Interruptor encendido**

Se utiliza un interruptor para encender el sistema (*Figura 64*), colocándolo en serie entre el conector de alimentación y el fusible.



**Figura 64 Interruptor**

- **Fusible 3A**

Se utiliza un fusible de 3A de 5x20 a la entrada del circuito, para proteger el circuito de un posible fallo que pueda provocar la fuente de alimentación, y así no provocar la destrucción de algunos dispositivos. El valor del fusible viene determinado por el consumo del sistema (*Anexo D.1*). En la *Figura 61* se observa en la zona delimitada de color naranja.

- **+12V**

Para la obtención de los 12V no se tiene que implantar ningún circuito electrónico, ya que es la tensión de salida la propia fuente de alimentación. Se puede observar en el trazado verde de la *Figura 60*.

- **Condensador electrolítico**

El uso de este condensador se ocupa de filtrar el rizado de la fuente de alimentación. Su valor es de 10  $\mu$ F 16V. Se emplea tanto para la entrada del regulador de tensión de 5V y de 3,3V.

- **+5V**

Para obtener los 5V se ha realizado el circuito que esta detallado en rojo en la *Figura 60*.

- **LM7805**

Se introduce este regulador (*Figura 65*) dado que para alimentar al  $\mu$ C y los pulsadores, se necesitan 5V. Este integrado es capaz de regular una tensión de 7,5V - 20V de entrada, con una tensión de salida de 5V, con una intensidad de 1A y una intensidad de pico de 2.2A según [20]. Este regulador es el más indicado debido al consumo que tienen los dispositivos alimentados con 5V, según se observa (*Anexo D.1*), los dispositivos que están alimentados a 5V apenas consumen corriente.

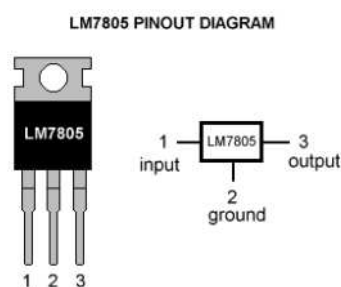


Figura 65 LM7805

- **Condensador electrolítico**

Se emplea este condensador para evitar que el regulador entre en auto-oscilación. Su valor es de 10  $\mu$ F 16V, se conecta su terminal negativo a tierra y el positivo a la salida del regulador de tensión.

- **+3,3V**

Terminando el bloque de la alimentación, los motores son los únicos dispositivos que se alimentan con 3,3V, y para la obtención de esta tensión se detalla en azul en la *Figura 61*.

- **LM317T**

Se usa este regulador de tensión variable, debido a que en la familia 78XX, los que tienen 3,3V a la salida, no suministran más de 1A, y el consumo de los motores a los cuales alimenta es casi de 1A

(Anexo D.1), por lo que se necesita utilizar un regulador que suministre mayor corriente para evitar problemas en el funcionamiento de los motores. Se ha elegido el LM317T [21] (Figura 66), este es capaz de suministrar hasta 1,5A. A la hora de hacer las pruebas, se tenía el problema de la disipación de calor de este integrado, debido a la corriente que tiene que suministrar, llegando a la conclusión de tener que colocarle un disipador de gran tamaño (8°C/W).

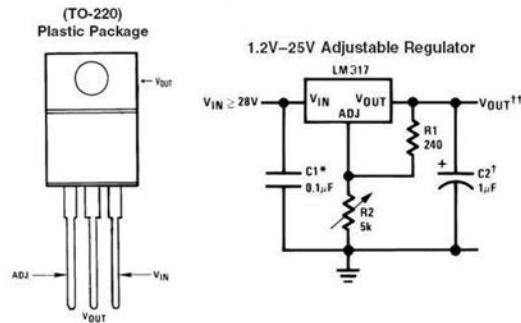


Figura 66 LM317T

Al ser un regulador de tensión variable, para conseguir los 3,3V a la salida, se tienen que utilizar sendas resistencias de 220Ω y 150Ω, que se obtienen del Anexo D.2.

- **Condensador electrolítico**

Se emplea del mismo modo que en el regulador 7805.

- **ENTRADAS + ACONDICIONAMIENTO**

Las entradas del sistema se pueden observar en la Figura 67, van conectadas según el esquema del Anexo B.1.

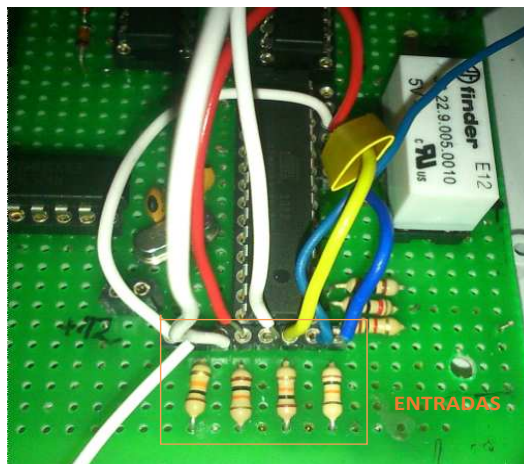


Figura 67 Acondicionamiento entradas



Los componentes que determinan este bloque son los siguientes:

- ❖ Pulsadores luminosos EV02-2530.
- ❖ Conectores Jack 3,5.
- ❖ Selector de tiempo.

- **Pulsador luminoso**

Como se ha explicado anteriormente, hay 3 pulsadores luminosos de color azul, amarillo y verde, del modelo que se muestra en la *Figura 68*.



**Figura 68 Pulsadores luminosos**

Cada uno se compone de una tapa de color, bombilla de iluminación (12V y 0.1A), soporte e interruptor final de carrera. Este se cableará con la configuración NO (Normally Open).

- **Conector Jack 3,5**

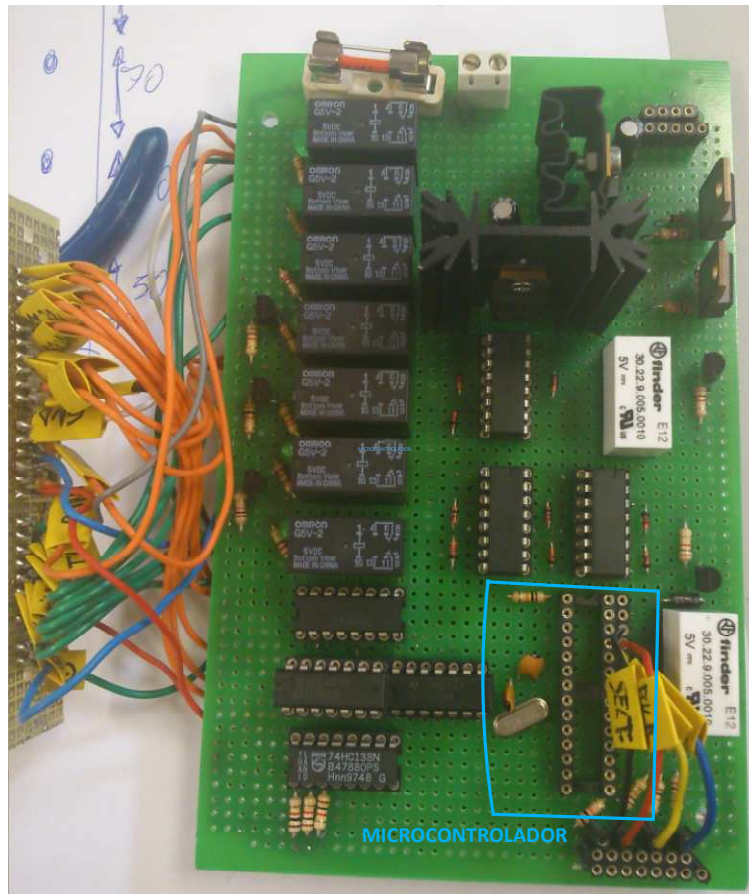
Los 3 conectores hembra Jack 3,5 se han elegido según las especificaciones del proyecto. El cableado de este conector se observa en la *Figura 69*.



**Figura 69 Conexión Jack 3.5**

### ○ MICROCONTROLADOR

Las conexiones del  $\mu$ C se muestran en el Anexo B.2. Se configuran 4 entradas digitales, y 13 salidas digitales, como se puede apreciar en la *Tabla 5*, 4 de las salidas se modulan mediante PWM. La disposición del microcontrolador se observa en la *Figura 70*.



**Figura 70 Microcontrolador**

Este circuito contiene el siguiente material:

- ❖ 1  $\mu$ C ATMEGA-328PU.
- ❖ 2 Condensadores cerámicos 22pF.
- ❖ Oscilador 16MHz.

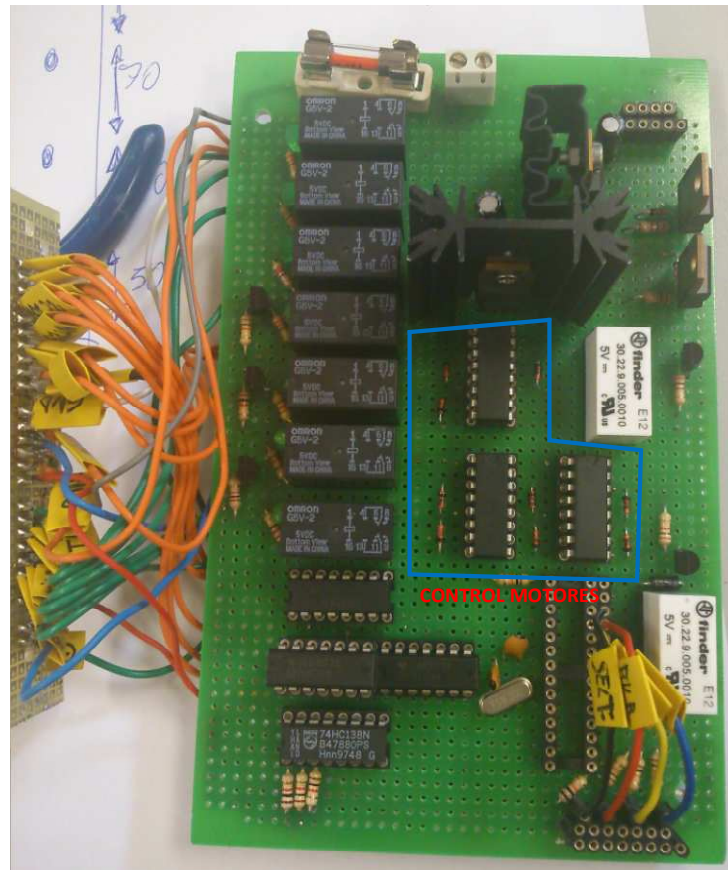
ENTRADAS/SALIDAS	PIN ARDUINO	PIN ZOCALO	TIPO
PULSADOR AZUL	A0 (D14)	23	ENTRADA DIGITAL
PULSADOR AMARILLO	A1 (D15)	24	ENTRADA DIGITAL
PULSADOR ROJO	A2 (D16)	25	ENTRADA DIGITAL
SELECTOR TIEMPO	A3 (D17)	26	ENTRADA DIGITAL
VERDE	D2	4	SALIDA DIGITAL
ROJO	D3	5	SALIDA DIGITAL (PWM)
AZUL	D4	6	SALIDA DIGITAL (PWM)
FAN 1	D5	11	SALIDA DIGITAL
FAN 2	D6	12	SALIDA DIGITAL
CONTROL TIRA A0	D7	13	SALIDA DIGITAL
CONTROL TIRA A1	D8	14	SALIDA DIGITAL
CONTROL TIRA A2	D12	18	SALIDA DIGITAL
MOTOR 1	D9	15	SALIDA DIGITAL (PWM)
MOTOR 1	D10	16	SALIDA DIGITAL (PWM)
MOTOR 1	D11	17	SALIDA DIGITAL (PWM)
LED ROJO	D13	19	SALIDA DIGITAL
LED AZUL	A4 (D18)	27	SALIDA DIGITAL

Tabla 5

La *Tabla 5* muestra cómo se distribuyen los pines del microcontrolador. Se utiliza un oscilador de 16MHz, que es el que usa este  $\mu\text{C}$ , y dos condensadores cerámicos de 22pF, también podrían ser validos de 18pF [15].

- **ACONDICIONAMIENTO + SALIDA**
  - **CONTROL MOTORES**

Es el circuito que controla la vibración de los tubos. Las conexiones se muestran en el *Anexo B.3.1*. Se puede observar en la *Figura 71*, la disposición de circuito.



**Figura 71 Control motores**

El circuito lo componen los siguientes dispositivos:

- ❖ **L293B.**
- ❖ **Diodo 1N4148.**
- ❖ **Resistencia 1K.**
- **L293B**

Es un integrado que contiene un doble puente en H, que se emplea para activar un motor y controlar su velocidad. Este integrado puede controlar el giro de dos motores, como también puede controlar 4 motores (único sentido de giro), utilizándose la 2ª opción. A través de la *Figura 23*, se observan los pines del dispositivo. Cada tubo utilizará un integrado con el que controlaremos 3 motores. La tabla de

funcionamiento del integrado se muestra en la *Tabla 6*. Donde ENx es la habilitación del puente en H, y A, B, C y D las señales de entrada que regulan la velocidad del motor.

EN 1	A	B	MOTOR 1	MOTOR 2	EN 2	C	D	MOTOR 3
L	X	X	PARADO	PARADO	L	X	X	PARADO
H	L	L	PARADO	ACTIVADO	H	L	L	PARADO
H	L	H	PARADO	PARADO	H	L	H	PARADO
H	H	L	ACTIVADO	ACTIVADO	H	H	L	ACTIVADO
H	H	H	ACTIVADO	PARADO	H	H	H	ACTIVADO

**Tabla 6 Control Motores**

Las configuraciones que se utilizarán son las que están destacadas en amarillo, ya que tenemos que encender y apagar los 3 motores a la vez. Para ello se utilizará una única salida del  $\mu C$  para controlar los 3 motores. Esta salida estará conectada a ENx (patilla 1 y 9), A (patilla 2) y C (patilla 3). Estando B y D siempre conectados a tierra.

La tensión de alimentación de los motores es de 3,3V que se conectará a la patilla 8 del integrado. Además, este integrado necesita estar alimentado a 5V en su patilla 16.

- **Resistencia 1k**

Se emplea esta resistencia para controlar la intensidad que emite el  $\mu C$ , y poder evitar la destrucción de este pin.

- **Diodo 1N4148**

Al ser la carga de un motor (de tipo inductivo), se debe poner una protección para proteger al transistor del pico de voltaje inducido ( $V_L = L \cdot d(i_L/dt)$ ), que se alcanza al apagarse el transistor rápidamente [9], este voltaje creará una corriente inducida que circulara por la salida del transistor ocasionándole daños irreparables.

- **CONTROL VENTILADORES**

Es el circuito encargado de accionar el ventilador, al recibir una señal del  $\mu C$ . El *Anexo B.3.3* y *Figura 72* muestran las conexiones de este circuito.

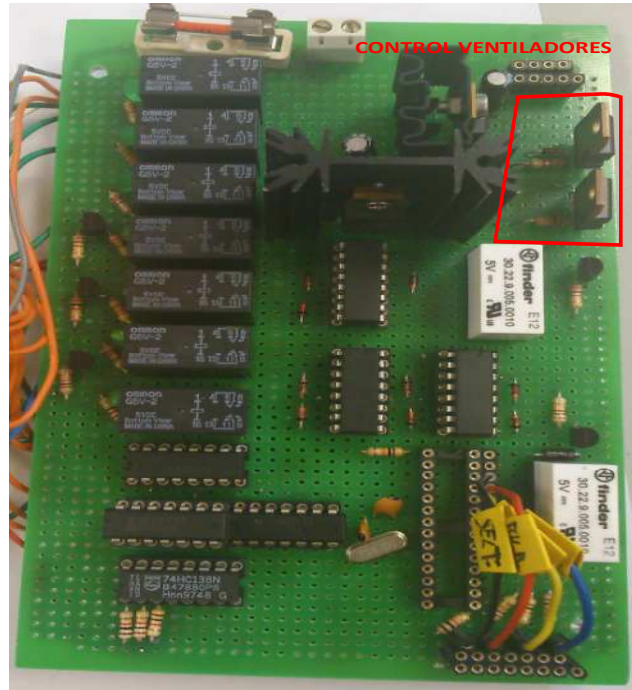


Figura 72 Control ventiladores

El circuito contiene los siguientes elementos:

- ❖ **TIP121.**
- ❖ **Resistencia 1k.**
- ❖ **Diodo 1N4148.**

- **TIP121**

Es un par Darlington del tipo encapsulo TO-220. Se utiliza para amplificar la señal del  $\mu C$ , trabajando entre corte y saturación, es decir, como un interruptor. Cuando en su entrada Pin-1 (base) (Figura 24) hay 0V, está trabajando en corte, en la base hay 0A y en el colector que es donde está conectado el ventilador hay 0A también, según  $I_c = h_{fe} \cdot I_b$ . Cuando en su entrada hay 5V, la base emitirá corriente y el transistor trabajará en saturación. El colector conducirá corriente debido también a  $I_c = h_{fe} \cdot I_b$ . Cuando un transistor trabaja entre corte y saturación, se dice que funciona como un interruptor [10].

- **Resistencia 1k**

Se emplea esta resistencia para controlar la intensidad que emite el  $\mu C$ , y poder controlar la destrucción de este pin.

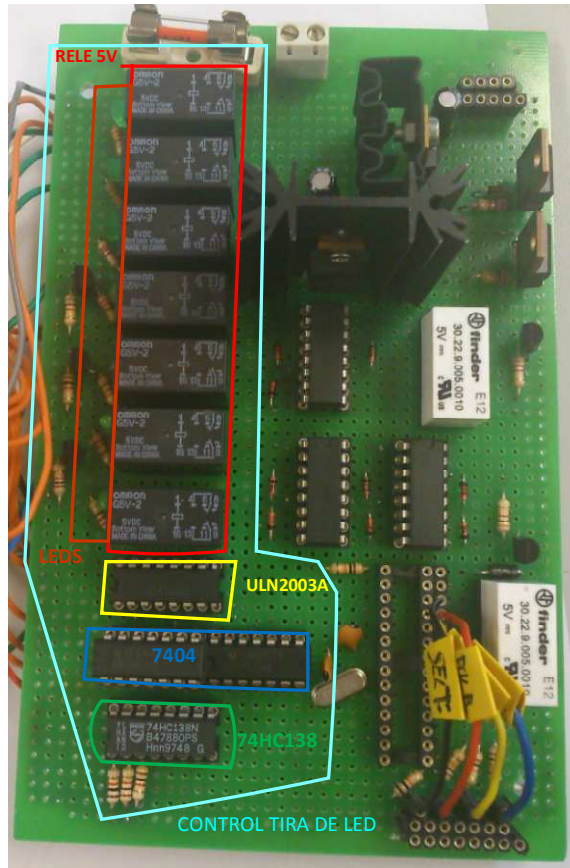
- **Diodo 1N4148**

Al ser la carga de un ventilador (de tipo inductivo), se emplea el diodo por las mismas circunstancias que se han explicado en el apartado Control de Motores.



### ○ CONTROL TIRA LEDS

El control de la tira de LEDS se muestra en el Anexo B.3.1 y *Figura 73*.



**Figura 73** Control tiras de LEDS

Se han utilizado los siguientes componentes:

- ❖ **Relé 5V.**
- ❖ **ULN2003.**
- ❖ **7404.**
- ❖ **74HC138.**
- ❖ **LED VERDE.**
- ❖ **RESISTENCIA 1K.**
- ❖ **RESISTENCIA 220Ω.**

- **Relé 5V**

Este dispositivo electromecánico será el encargado de activar y desactivar la tira de led. Su funcionamiento consiste en la excitación de una bobina, para lo que se necesitan 0.1A, para abrir o cerrar el interruptor que dispone el relé [23]. Este interruptor puede ser NO o NC (normally close) como se observa en la *Figura 74*. La configuración elegida es NO, debido a que se tiene que encender. Se puede observar el dispositivo en la zona roja de la *Figura 73*.

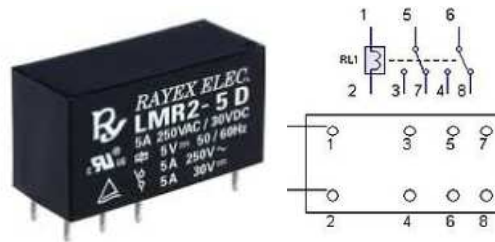


Figura 74 Relé

- **ULN2003A**

Se utiliza este integrado porque se necesita excitar las bobinas de los relés, y este dispositivo posee hasta 7 par Darlington incorporados dentro del integrado capaz de suministrar hasta 0.5A por par Darlington [24], incluida la protección de cada par, como se observa en la *Figura 75*. Este trabajara como un interruptor entre corte y saturación. Otro de los motivos por el que se usa, es por la menor superficie a utilizar en la placa, ya que si se usase otro circuito para excitar la bobina, se tendrían que utilizar mayor superficie de placa. Su ubicación en la placa se encuentra en la zona amarilla de la *Figura 73*.

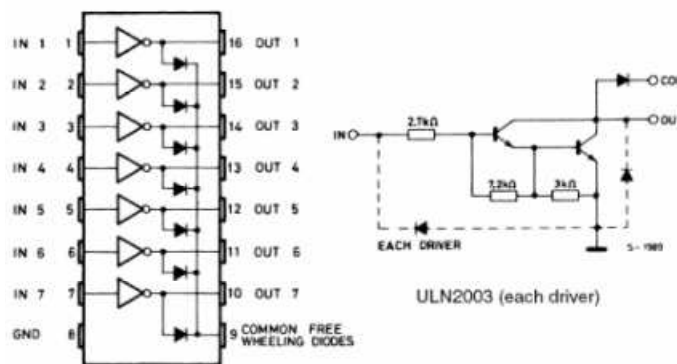


Figura 75 ULN2003A

- **74HC138**

Se utiliza este integrado TTL, en primer lugar porque estamos trabajando con tensiones “digitales”. En segundo lugar, utilizamos el decodificador/demultiplexor para intentar utilizar el menor número de



pinos del  $\mu C$ , para controlar el mayor número de tiras. Se puede observar en la zona verde de la *Figura 73*. Este decodificador es de 3 bits [25]. Posee 3 entradas y 8 salidas, como se observa en la *Figura 76*.

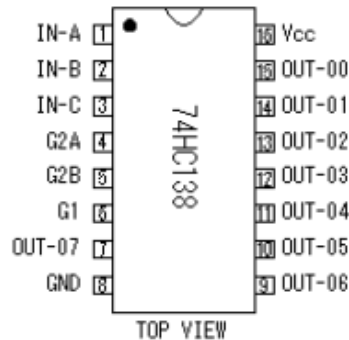


Figura 76 74HC138

- **SN74LS04N**

Se elige este componente debido a que las salidas del decodificador son negadas, y el integrado 7404 contiene 6 puertas NOT como se muestra en la *Figura 77* [26], se tendrán que utilizar 2 unidades, véase zona azul *Figura 73*.

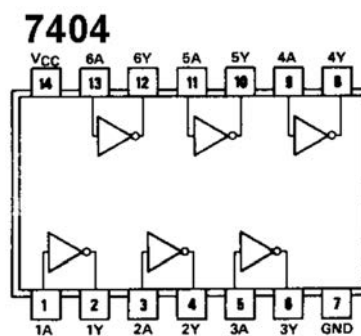


Figura 77 SN74LS04N

- **Resistencia 1k:**

Se emplea esta resistencia para controlar la intensidad que emite el  $\mu C$ , y poder evitar la destrucción de este pin.

- **Led verde y resistencia 220 $\Omega$**

Se utiliza un LED verde 3mm y una resistencia de 220 $\Omega$  (*Anexo D.2*). Para indicar la activación o desactivación de un relé, esta implementación se ha llevado a cabo como una ayuda, por si ocurre un problema, y así detectar que los relés están abiertos o cerrados. Se puede observar la zona marrón de la *Figura 73*.

### ○ SALIDA

Las salidas se llevan a 4 conectores de la serie 733-33X (machos). Los conectores son de 10, 8, 6 y 2 pines. Como se puede apreciar en el Anexo B.5 y en la *Figura 78*. Todas las conexiones están identificadas con marcadores amarillos, y siguiendo un código de colores los cables según *Tabla 7*.

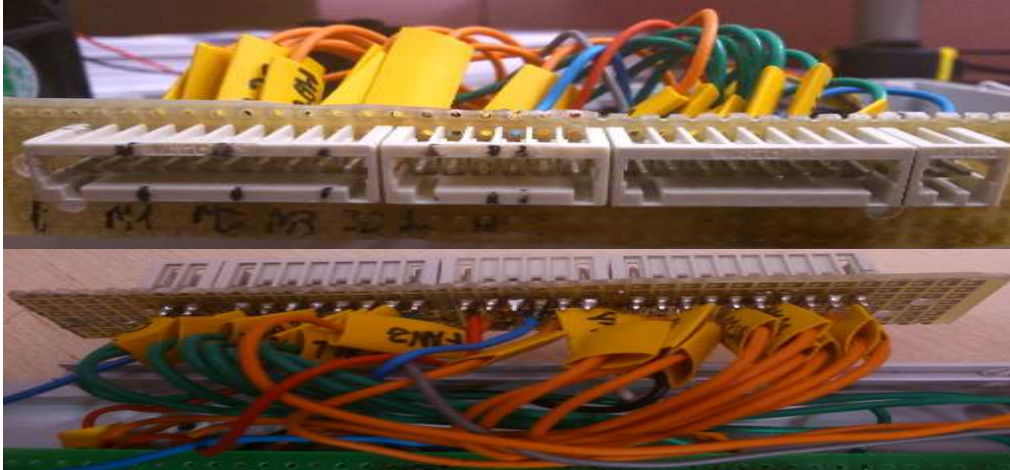


Figura 78 Conector salida

COLOR CABLE	SALIDAS
<b>NARANJA</b>	VENTILADOR Y MOTORES
<b>VERDE</b>	ALIMENTACIÓN TIRAS DE LED
<b>GRIS</b>	+12V
<b>NEGRO</b>	3,3V
<b>ROJO</b>	TIRA LED ROJO Y COLOR ROJO
<b>AZUL</b>	TIRA LED AZUL Y COLOR AZUL
<b>BLANCO</b>	GND

Tabla 7 Colores cables

Las mangueras que conexionan el mando con los tubos tienen 2m de longitud (*Figura 79*). El extremo que conecta con el mando tiene los conectores 733-10X (hembras) de Wago. Los conectores del otro extremo se han comentado en el Apartado 3.2.



Figura 79 Mangueras de conexión

### 3.4 Pruebas de comunicación correcta

Se han tenido varios problemas con el conexionado de la placa debido, a causa de la cantidad de cables que hay. Pero para ello se ha llevado a cabo un procedimiento de comunicación correcta.

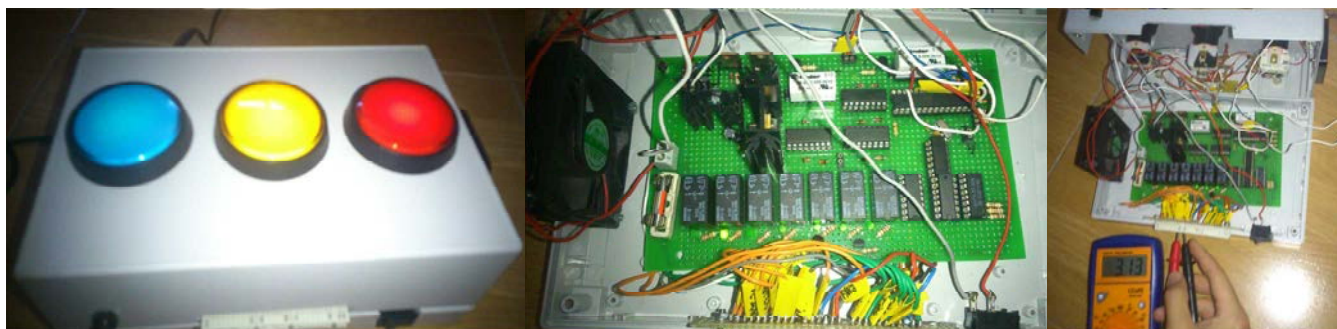
- **MANDO**

En primer lugar se han revisado todas las conexiones internas de la placa, comenzando midiendo la continuidad de las alimentaciones 3,3V, 5V y 12V, de todos los dispositivos electrónicos (véanse todos los Anexos B).

Posteriormente se han comprobado todas las conexiones entre integrados (véanse Anexos B.2, Anexos B.3.1, Anexos B.3.2, Anexos B.3.3, Anexos B.3.4 y Anexos B.4).

Una vez comprobado que todas las conexiones son correctas, se comprueba la continuidad de las conexiones de las salidas, observando que la etiqueta del cable es la correcta también (véase *Figura 80*).

Terminadas estas comprobaciones, se observará si el sistema esta alimentado, mediante la iluminación de los pulsadores (véase *Figura 80*). Y se comprueba con el polímetro las alimentaciones de los dispositivos (*Figura 80*). Se puede observar la activación de los relés a través de los leds que se han implementado.



**Figura 80 Pruebas mando**

La imagen de la izquierda se observa la alimentación correcta del sistema, la imagen del centro pertenece a la activación de un relé, la imagen de la derecha pertenece a la alimentación de 3,3V de un dispositivo

Una vez comprobadas las conexiones del mando, se procede a verificar las adecuadas conexiones de los conectores de salida del mando, para ello se comprueba la continuidad de la salida del dispositivo que proviene la conexión y el pin del conector. Se han colocado etiquetas con el nombre de la salida para una fácil identificación (véase *Figura 81*)



Figura 81 Etiquetas conector

- **MANGUERAS**

Se realiza una prueba de continuidad entre los dos extremos de las mangueras, el cableado se ha etiquetado, para una mejor identificación (véase *Figura 82*).

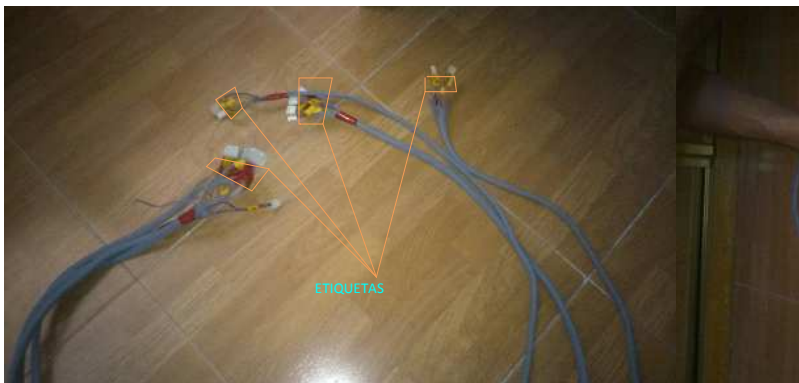


Figura 82 Etiquetas mangueras y continuidad

- **TUBOS**

Se realizan pruebas de continuidad como se han descrito anteriormente.

## Capítulo 4. Resultados experimentales e implementación final

### 4.1 Pruebas desarrolladas

#### 4.1.1 Funcionamiento satisfactorio

Los resultados obtenidos cumplen con las especificaciones que se pidieron al inicio del proyecto. No se han podido desarrollar las pruebas con el usuario final, pero para el día de la defensa de TFG, se espera que se hayan podido realizar estas pruebas, y se comentará cualquier tipo de cambio que haya sufrido el sistema.

Una vez que se enciende el mando, aparecen iluminados los pulsadores luminosos y el ventilador de refrigeración del mando (*Figura 83*).



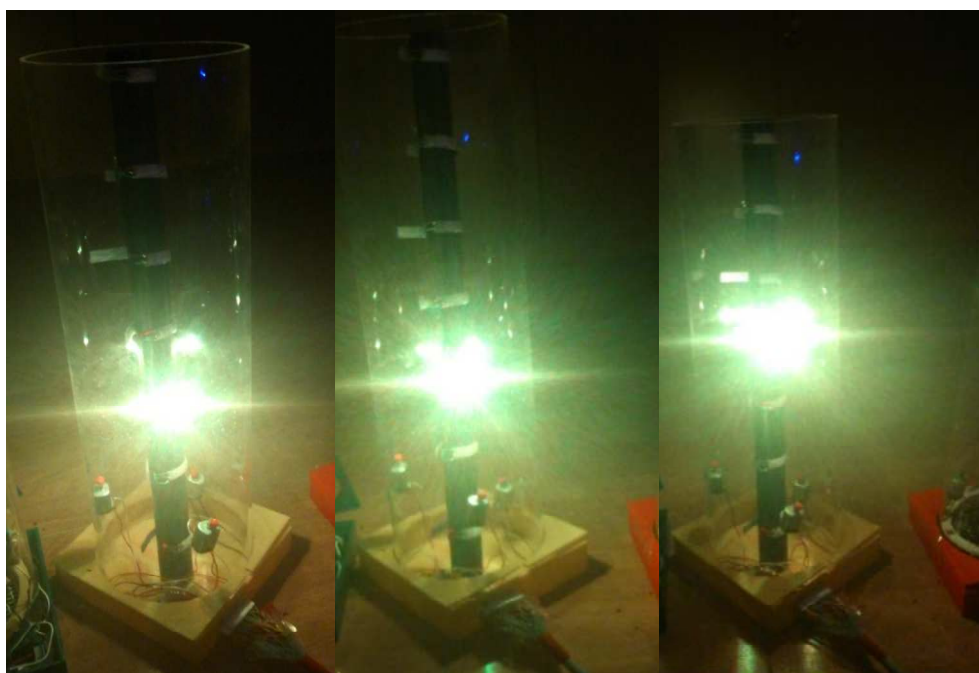
**Figura 83 Iluminación pulsadores**

Al presionar el botón azul, se aprecia la iluminación azul de la tira de LEDS y el confeti suspendido en el aire (Véase *Figura 84*).



**Figura 84 Activación tubo azul**

Al presionar el botón amarillo, se aprecia la iluminación de la secuencia de las tiras de la tira de LEDs.



**Figura 85 Activación tubo amarillo**

También se puede observar que está activado un relé que activa la tira de LEDs, a través del diodo LED que se ha colocado (marcado en rojo *Figura 86*).





**Figura 86 Activación relés**

Por último al presionar el botón rojo, se aprecia la iluminación roja de la tira de LEDS y el confeti suspendido en el aire (Véase *Figura 87*).



**Figura 87 Tubo rojo**

A continuación se muestra un enlace para ver el video que muestra el correcto funcionamiento del sistema.

Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=e5STjDGZvOI&feature=youtu.be>

En el primer tramo del video, se muestra que permanecen encendidos los pulsadores luminosos.

Seguidamente, se observa la ejecución del proceso de activación del tubo azul, donde vibran los 3 motores, se ilumina el tubo de color azul y se contempla el confeti suspendido en el aire. En un primer proceso se selecciona el modo corto de tiempo 20 segundos. En el segundo proceso dura 45 segundos (no se muestra).

Después de terminar la activación del tubo azul, se observa la ejecución del proceso de activación del tubo amarillo, donde vibran los 3 motores, se ilumina el tubo de color amarillo a través de la secuencia de subida y bajada que realizan las tiras de leds.

Finalmente, se observa la ejecución del proceso de activación del tubo rojo, donde vibran los 3 motores, se ilumina el tubo de color rojo y se contempla el confeti suspendido en el aire.

### 4.1.2 Pruebas de resistencia de uso

- **MANDO**

La caja se compone de dos partes, que se unen mediante 4 tornillos. Es imposible que se separe o pueda tener cualquier tipo de rotura con un comportamiento normal.

Los pulsadores están fijados en el interior de la caja mediante una tuerca plástica que se ajusta a la base del pulsador, teniendo esta base unas pestañas para fijar el pulsador e impedir el movimiento. El interruptor de palanca está fijado mediante una tuerca metálica, la única manera de quitarlo es con una herramienta.

Los conectores Jack tanto de los pulsadores como el de alimentación, están fijados de tal manera que no se puedan sacar fácilmente, la forma de extraerlos es con ayuda de una herramienta.

Las carcasas de los filtros, van fijadas a presión y con un uso normal, no se podrían desprender las carcasas.

El conector que conexiona con las mangueras, se fija interiormente con tuercas, con lo cual no se podría quitar.

En conclusión el mando está diseñado de una manera que no se pueda romper la caja o cualquier otro elemento explicado anteriormente, ni se quiten los componentes fácilmente o se caigan.

- **MÓDULO DE TUBOS**

La resistencia de uso de cualquier tubo depende exclusivamente de cuando se instalen en el Colegio los tubos. Ya que la única manera de causar algún defecto al tubo es que cuando se mueva el tubo y se caiga contra la superficie de apoyo, pueda llegar a rajarse o romper el policarbonato. Una solución es fijar las cajas base de los tubos a una superficie y de este modo no se caerían.



## 4.2 Presupuesto

El presupuesto se divide en el coste de material y de personal.

- COSTE MATERIAL**

El coste del material se divide en los dos bloques que se compone el sistema.

- **Capítulo 1 (MANDO)**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NETO	TOTAL
CAJA ABS	1	20	20
PULSADORES LUMINOSOS	3	6,32	18,96
INTERRUPTOR PALANCA	1	1	1
INTERRUPTOR	1	0,5	0,5
VENTILADOR	1	3	3
FILTRO GRANDE	1	4	4
FILTRO PEQUEÑO	1	2	2
CONECTOR JACK5.5-2.5	1	0,85	0,85
PLACA PUNTOS	1	5	5
RELES	9	1,65	14,85
ULN2003A	1	0,15	0,15
7404	1	0,41	0,41
74HC138	1	0,26	0,26
L293B	3	1,8	5,4
1N4148	12	0,01	0,12
RESISTENCIAS	x	0,02	0,5
CONDENSADORES	6	0,1	0,6
LEDS	7	0,04	0,28
BC548		0,1	0
TIP121	2	0,3	0,6
LM317T	1	1,3	1,3
LM7805	1	1,2	1,2
DISIPADOR GRANDE	1	2	2
DISIPADOR PEQUEÑO	1	1	1
CABLE	10	0,25	2,5
ZOCALOS 14 PINES	3	0,8	2,4
ZOCALOS 16 PINES	11	1	11
ZOCALOS 18 PINES	2	1,1	2,2
ZOCALOS 28 PINES	1	2	2
PINES	5	0,02	0,1
CONECTOR JACKS 3,5 HEMBRA	3	0,85	2,55
CONECTOR 10 P (MACHO/HEMBRA)	2	1	2
CONECTOR 8 P (MACHO/HEMBRA)	2	0,9	1,8

## Sistema de estimulación sensorial

CONECTOR 6 P (MACHO/HEMBRA)	2	0,8	1,6
CONECTOR 2 P (MACHO/HEMBRA)	2	0,3	0,6
FUSIBLE	1	0,1	0,1
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	1	9	9
<b>TOTAL</b>			<b>121,83</b>

### ○ Capítulo 2 (MODULOS TUBOS)

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NETO	TOTAL
CABLE	60	0,25	15
TUBO TRANSPARENTE	2	35	70
TUBO PVC	0,5	2	1
MOTORES	9	2	18
CONECTORES X	x	0,3	3
FUNDA EXPANDIBLE	6	0,25	1,5
VENTILADOR	2	10	20
TIRA DE LED	1	18	18
REJILLA	1	0,5	0,5
CAJAS	3	20	60
PIEZAS MOTORES	1	3	3
<b>TOTAL</b>			<b>210</b>

### • COSTE TOTAL MATERIAL

CAPÍTULO	COSTE
Capítulo 1	121,83
Capítulo 2	210
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>331,83</b>

### • COSTE PERSONAL

Se ha estimado el coste de personal en referencia a trabajadores de proyectos en la Universidad Carlos III de Madrid.

Graduado en Ingeniería: 20,5 €/hora

Cargas económicas:

Seguridad Social: 27%

Desempleo: 1,5%

Desglose en número de horas de cada tarea del proyecto:

TAREA	Nº HORAS	COSTE/HORA	COSTE TOTAL
DISEÑO Y PRUEBAS	60	26,35	1581
FABRICACIÓN	140	26,35	3689
DOCUMENTACIÓN	30	26,35	790,5
PRUEBAS FINALES	3	26,35	79,05
<b>TOTAL</b>			<b>6139,55</b>

- **OTROS COSTES**

GASTOS DE ENVIÓ	40
GASOLINA	20

❖ **COSTE TOTAL**

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 6531,38 € SEIS MIL QUINIENTOS TREINTA Y UN EUROS.

Leganés a 22 de Junio de 2014

El ingeniero proyectista

Fdo. Antonio Puente Sanz

## Capítulo 5. Conclusiones y posibles líneas futuras

### 5.1 Conclusiones

Una vez diseñado y fabricado el proyecto se ha cumplido el objetivo de poder desarrollar la parte de la Sala multisensorial que ha demandado el Colegio San Rafael, cumpliendo el funcionamiento previsto del sistema y las especificaciones marcadas, e intentando buscar un equilibrio entre la funcionalidad del sistema y el coste económico. Un sistema diferente tiene un valor en el mercado de entorno 1400€, y este se ha realizado por 332€ en coste de material, reduciendo hasta 4 veces el coste de un producto similar en el mercado.

Gracias a este proyecto se han podido adquirir conocimientos nuevos tanto a nivel software: aprender a usar ReplicatorG (software construcción piezas impresora 3D) y conocer una nueva IDE, Arduino; a nivel electrónica: protección de dispositivos eléctricos y conocimiento de nuevos componentes electrónicos; por último, adquisición de conocimientos sobre como realizar unos determinados pasos para la fabricación del proyecto, para no cometer errores en la fabricación del proyecto, ya que esta fase no se ha llevado a cabo de una manera tan dimensionada hasta ahora, y se cometen errores que posteriormente se han podido corregir. También poder refrescar conocimientos adquiridos en la carrera como por ejemplo en electrónica analógica y digital, además de microcontroladores.

También es reconfortarle el poder realizar un proyecto con el cual puedas ayudar a personas con dificultades físicas y cognitivas, que no pueden acceder a este tipo de medios debido a un alto coste en el mercado.

### 5.2 Líneas Futuras

#### 1. PCB

La mejora más importante a tener en cuenta en un futuro, es el sustituir la placa por puntos, donde se ha montado todo el circuito, por una PCB. La razón principal, se debe al alto número de conexiones, que hace que se utilicen muchos cables y tenga un aspecto menos profesional, e induce a un menor número de errores de malas conexiones. No se esperan interferencias apreciables, en todo caso, por haber cuidado la colocación de los cables para no producir bucles de corriente, y porque no se manejan frecuencias elevadas en ningún caso.

#### 2. Ventilador

Uno de los aspectos a mejorar, es el cambiar los ventiladores por unos más potentes, pero esto lo limita el tema económico, ya que se ha conseguido un ventilador con las mejores prestaciones a un precio bastante reducido, en comparación con otros que hay en el mercado.

#### 3. *Diseñar otro tipo de comportamiento del tubo*

Un trabajo en el futuro sería diseñar un tubo con un comportamiento semejante a la *Figura 4 [7]*. De este modo los 3 tubos producirían estímulos completamente distintos. En el caso de realizar una columna de agua, se debería de hacer las pruebas en otro laboratorio, donde se tuviesen los medios adecuados.

#### 4. Software completo

Desarrollar un programa de software más completo, donde se realicen más variaciones en los procesos, y no se repita siempre la misma secuencia, variando velocidades de los motores, ventiladores y regulando la iluminación. Asimismo, dejar funciones preparadas según las nuevas posibilidades que planteen los profesores.

#### 5. Vibración

Mejorar la vibración del tubo adquiriendo motores vibratorios o realizando pruebas más sofisticadas para conseguir la mayor vibración posible. Dentro de este apartado, se engloban los motores, y otra de las mejoras a llevar a cabo es la de controlar los encendidos y apagados de los motores, para limitar el consumo y que los reguladores no disipen tanto calor.

### Bibliografía

[1] Página web:

<http://www.observatoriodelaaccessibilidad.es/accesibilidad/breve-historia/>

Última vez consultada: 15/06/2014

[2] Página web:

[http://www.ceapat.es/ceapat\\_01/auxiliares/disenio\\_para\\_todos/index.htm](http://www.ceapat.es/ceapat_01/auxiliares/disenio_para_todos/index.htm)

Última vez consultada: 15/06/2014

[3] Página web:

<http://www.designforalleurope.org/Design-for-All/>

Última vez consultada: 15/06/2014

[4] Página web:

<http://www.colegioeducacionespecialhsr.es/>

Última vez consultada: 15/06/2014

[5] DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DEL COLEGIO SAN RAFAEL (8):

Control interactivo de estímulos sensoriales Sala Snoezelen, Autor: Miguel de Prado Escudero Trabajo Fin de Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Universidad Carlos III de Madrid.

Junio 2012

Última vez consultada: 19/06/2014

[6] Página web:

<http://www.revistatog.com/num10/pdfs/original%204.pdf>

Última vez consultada: 15/06/2014

[7] Página web:

<http://www.handycat.com/es/category/listing/95/columnes-panells-de-bombolles>

Última vez consultada: 15/06/2014

[8] Página web:

<http://www.arduino.cc/es/>

Última vez consultada: 15/06/2014

[9] Robert L. Boylestad & Louis Nashelsky. *Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*, 10 Edición. 2006, ISBN 9702604486

[10] Jorge Pleite Guerra, Ricardo Vergaz Benito y José Manuel Ruiz de Marcos. *Electrónica Analógica para Ingenieros*, Mc Graw Hill. 2006, ISBN 978-84-481-6885-8

[11] Página web:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/73/10/Capitulo2.pdf>

Última vez consultada: 15/06/2014

[12] Josep Balcells. *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos*, Ilustrada ISBN: 8426708412, 9788426708410

[13] Página web: Calculo LM317T

<http://www.pcsilencioso.com/cpemma/317calc.html>

Última vez consultada: 16/06/2014

[14] Página web: Calculo resistencias LEDS

<http://www.robotecno.com/catalog/actionshoot.php>

Última vez consultada: 16/06/2014

## DATASHEETS

[15] ATMEGA328-PU :

[http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P\\_datasheet\\_Complete.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf)

Última vez consultada: 15/06/2014

[16] Tira de led :

<http://www.telkron.es/asp/carrito/verpro.asp?codpro=81050RGB100&id=2456>

Última vez consultada: 15/06/2014

[17] TL082:

<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/nationalsemiconductor/DS008357.PDF>

Última vez consultada: 15/06/2014

[18] L293B:

<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXurruu.pdf>

Última vez consultada: 15/06/2014

[19] TIP121:

[http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet\\_pdf/texas-instruments/TIP120\\_to\\_TIP122.pdf](http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet_pdf/texas-instruments/TIP120_to_TIP122.pdf)

Última vez consultada: 15/06/2014

[20] LM7805:

<http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf>

Última vez consultada: 15/06/2014

[21] LM317T

<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/stmicroelectronics/2154.pdf>

Última vez consultada: 15/06/2014

[22] Condensador electrolítico 10 $\mu$ F

<http://www.farnell.com/datasheets/1700589.pdf>

[23] RELE 5V

[http://www.omron.com/ecb/products/pdf/en-g5v\\_1.pdf](http://www.omron.com/ecb/products/pdf/en-g5v_1.pdf)

Última vez consultada: 15/06/2014

[24] ULN2003A

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf>

Última vez consultada: 15/06/2014



[25] 74HC138

[http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/74HC\\_HCT138.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT138.pdf)

Última vez consultada: 15/06/2014

[26] SN74LS04N

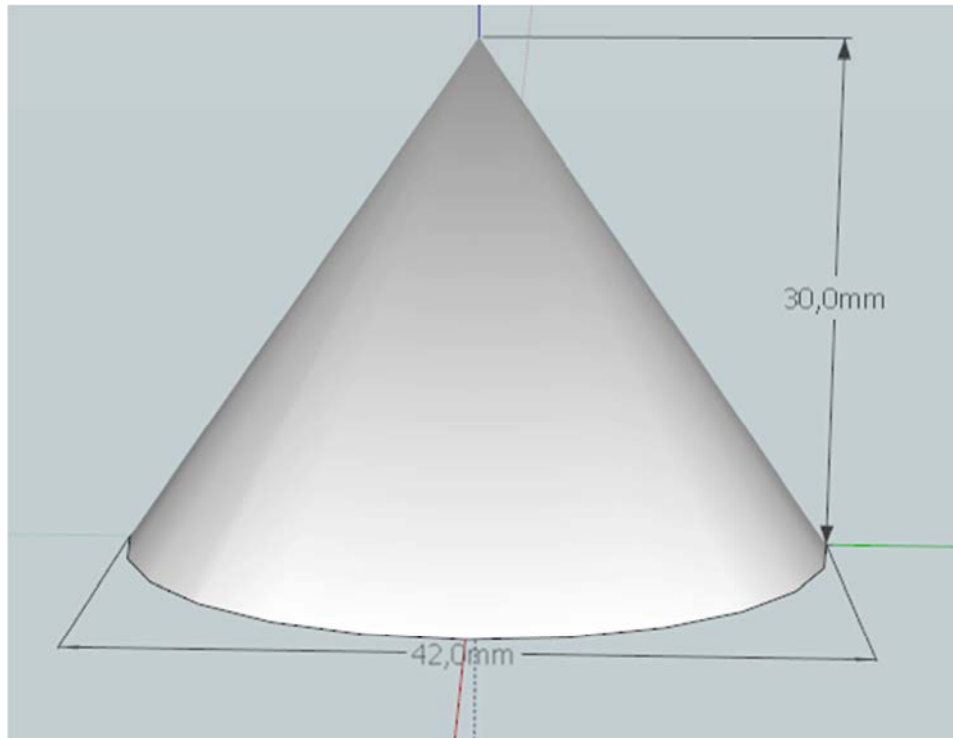
<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet2/2/05wgrsi4dj138cir491fr5yphp7y.pdf>

Última vez consultada: 15/06/2014

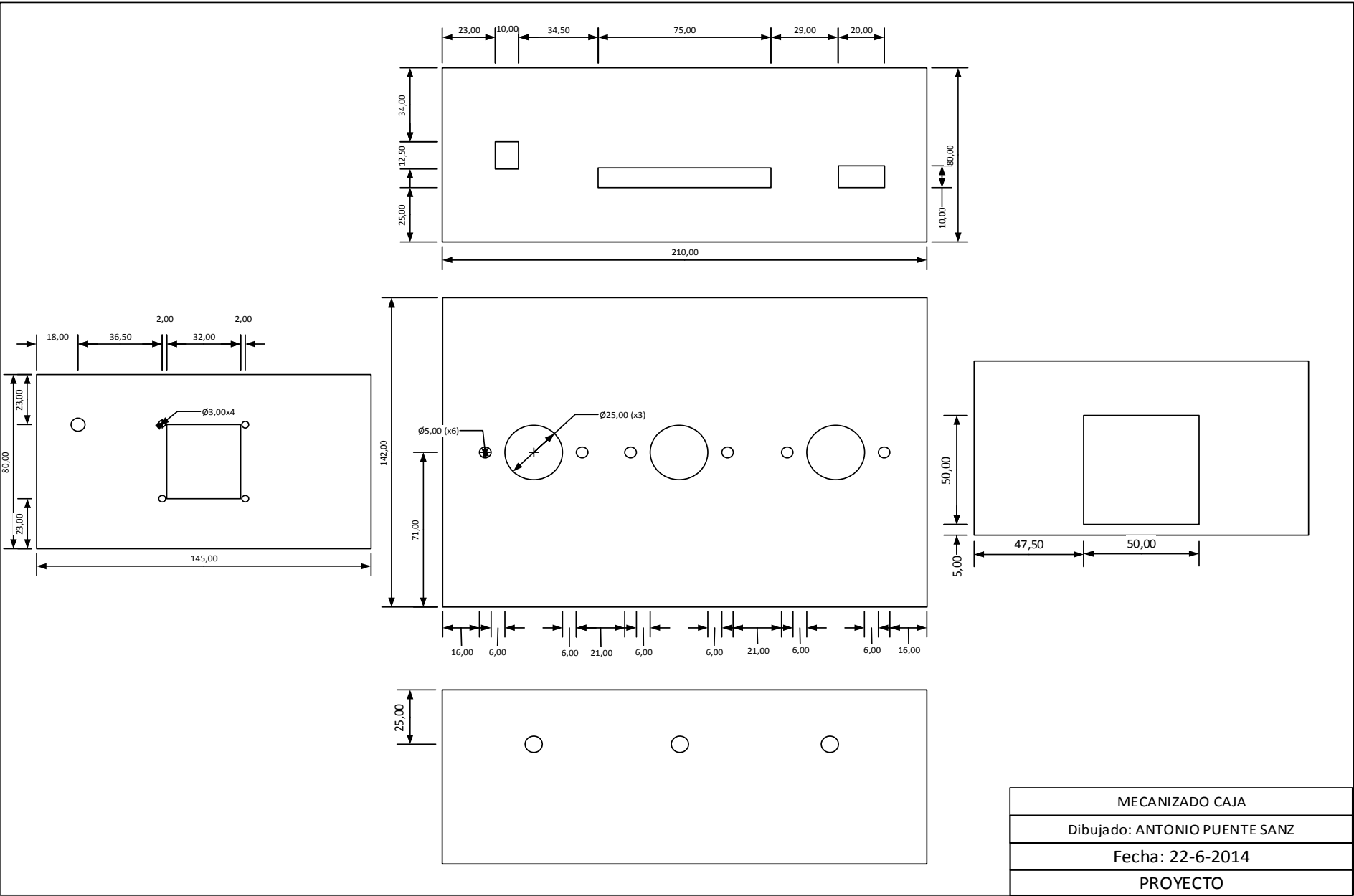
## Anexos

### A. PLANOS DE PIEZAS CONSTRUIDAS Y MECANIZADAS

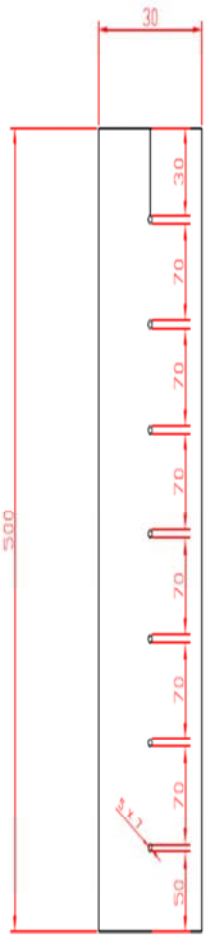
#### 1. Cono filtro



2. Mecanizado caja

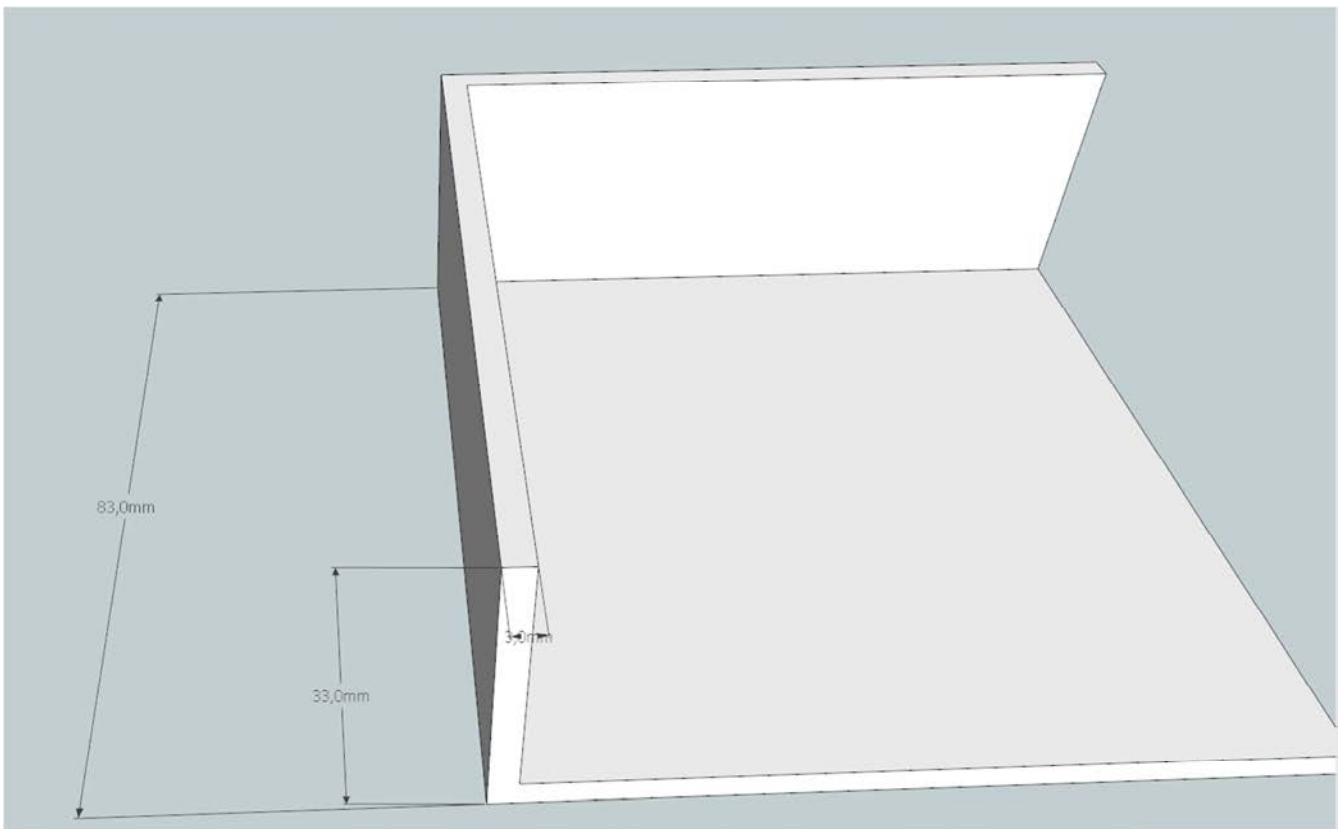
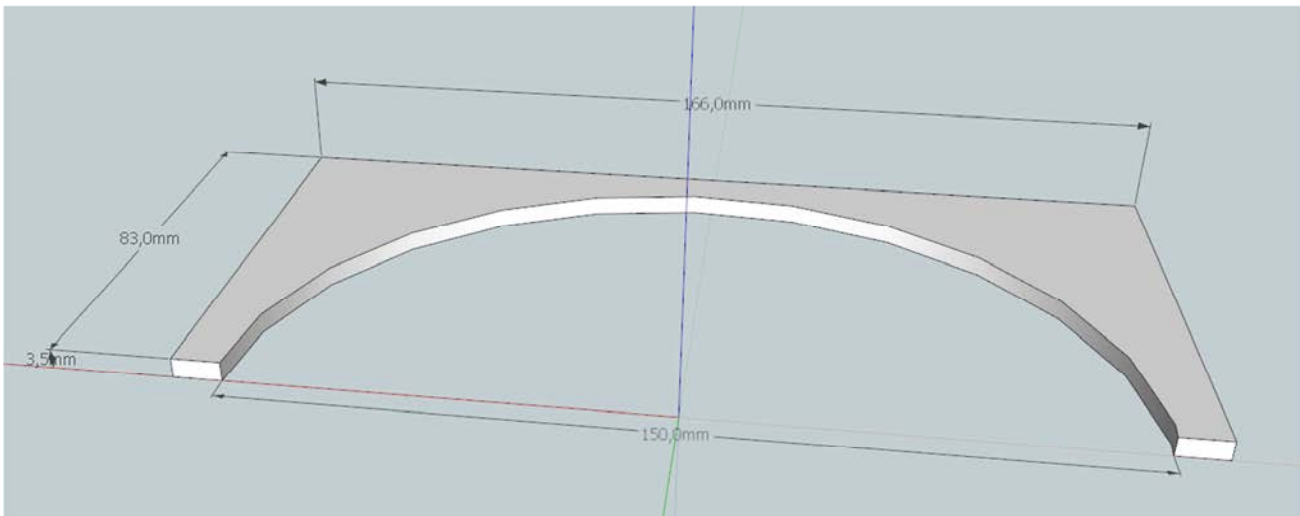


3. Mecanizado tubo



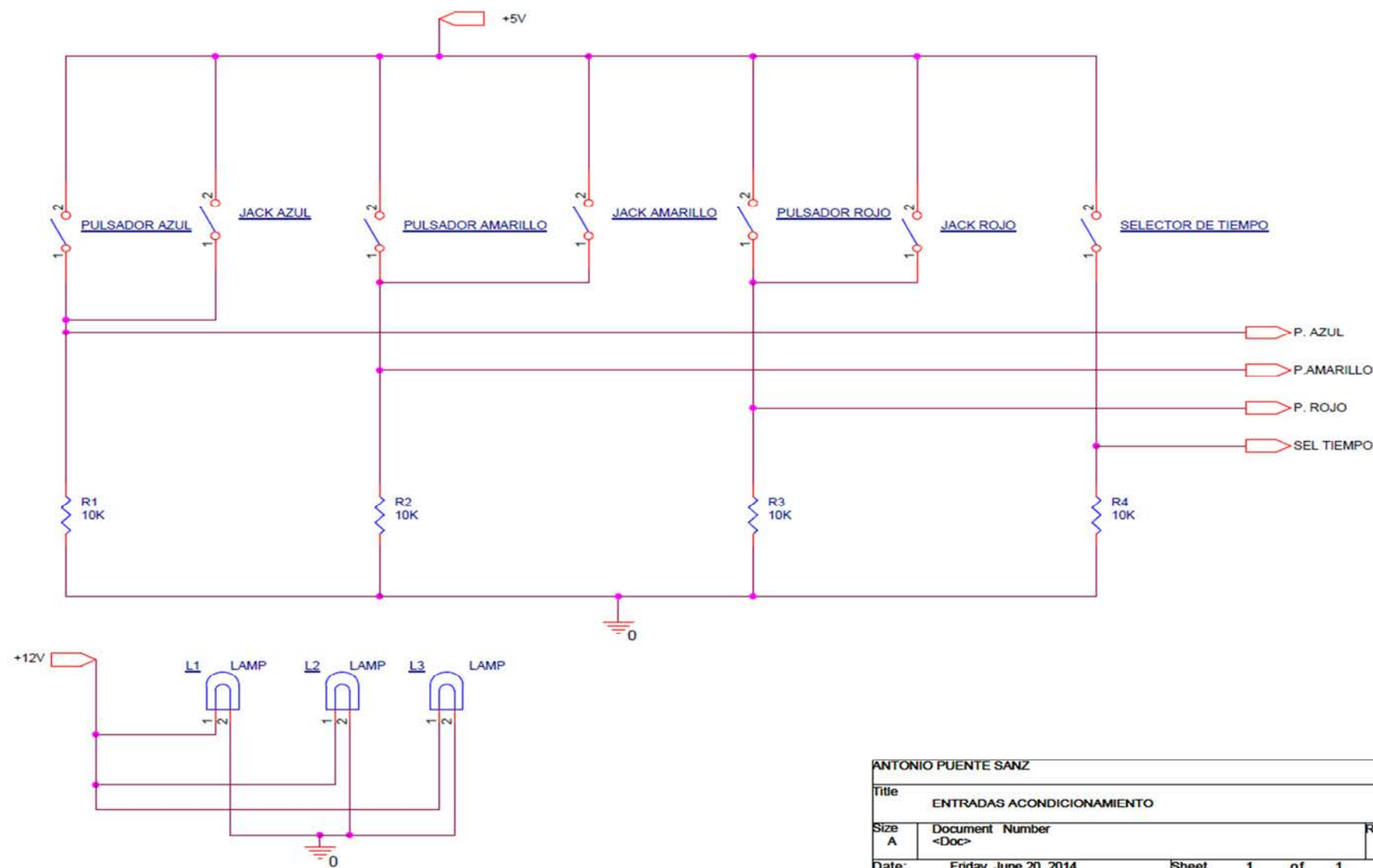
UCSM	Hoy en el Instituto Subterráneo		JUNIO-2014	Fecha		PROYECTO	GRUPO 3	
			ANTONIO PUENTE	Dibujado				
			.	Comprobado				
			.	Aprobado				
						INSTALACION ELECTRICA CALLE PARAGUAY, 5 (GETAFE)	REF.: 1.13	PLANO N°.: 1.13_02
						EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACION	ESCALA: 1:50	HOJA: 3 CONT.: 4

### 4. Cajas tubo



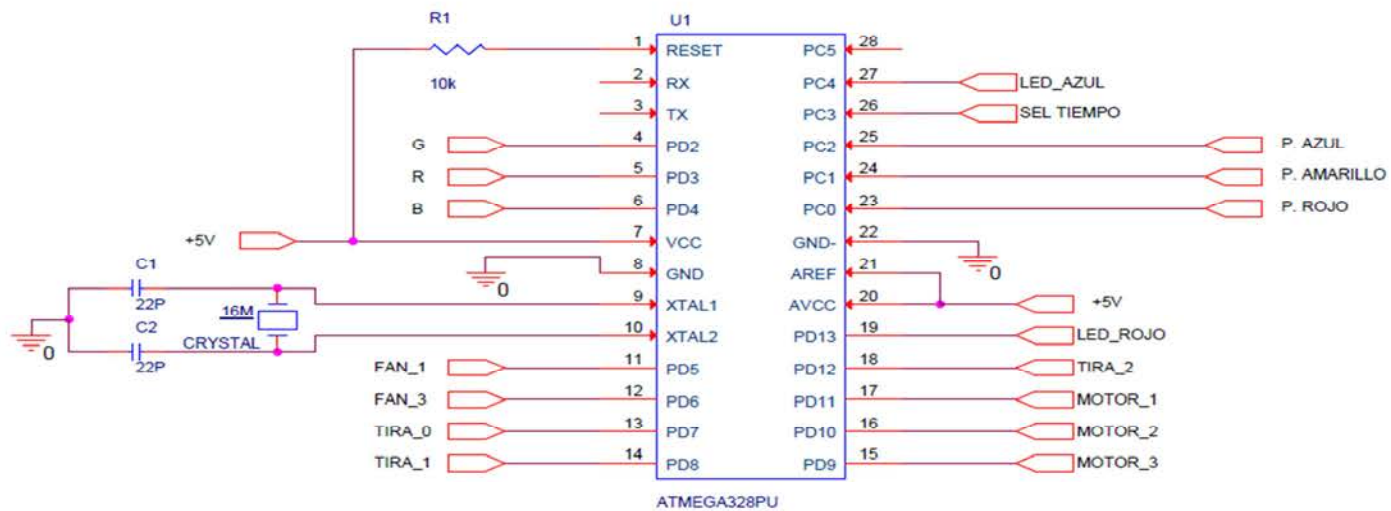
B. ESQUEMAS CIRCUITOS

1. ENTRADAS



ANTONIO PUENTE SANZ		
Title		
ENTRADAS ACONDICIONAMIENTO		
Size	Document Number	Rev
A	<Doc>	
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet 1 of 1

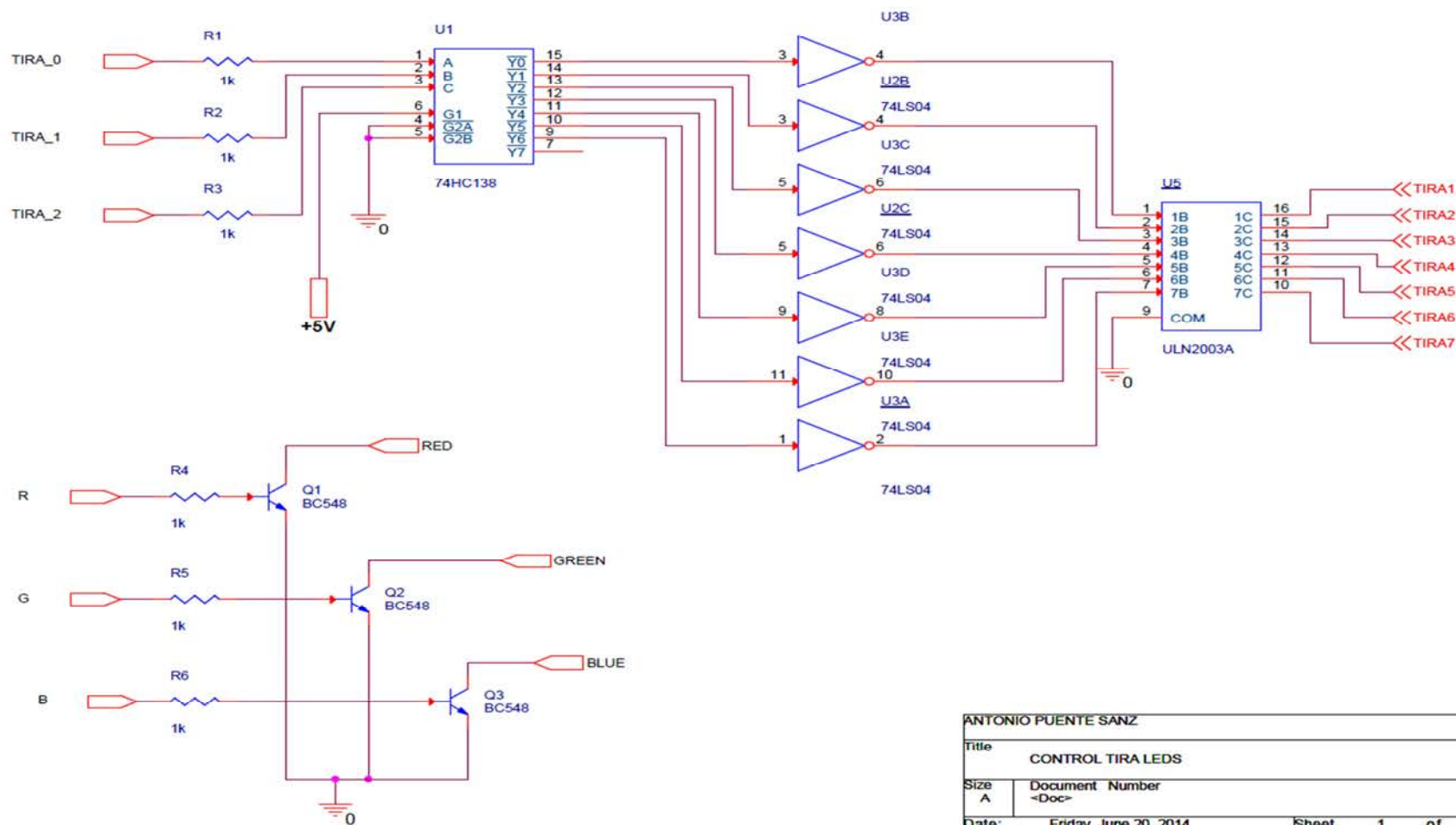
## 2. MICROCONTROLADOR



ANTONIO PUENTE SANZ			
Title MICROCONTROLADOR			
Size A	Document <Doc>	Number	Rev
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet 1 of 1	

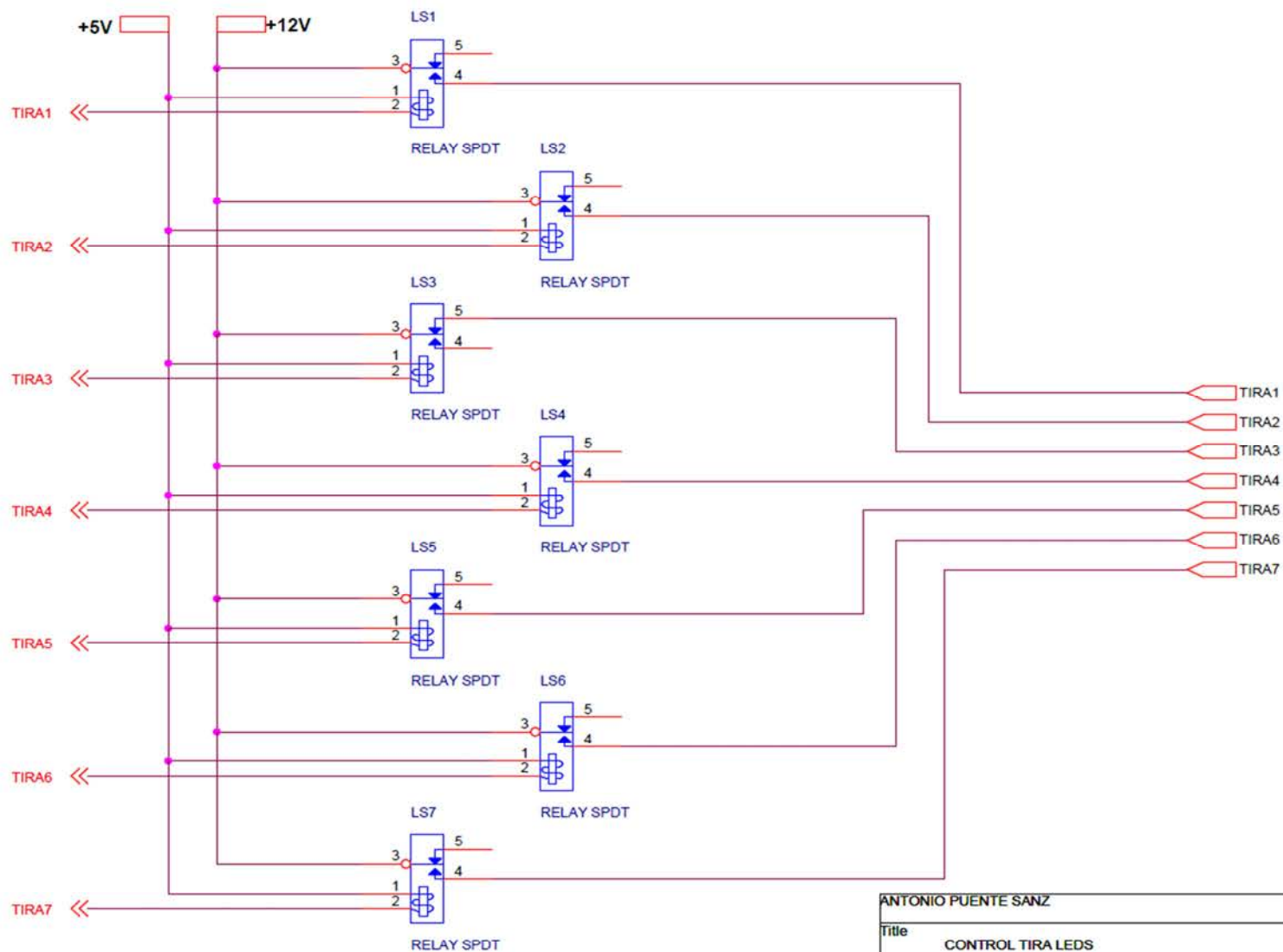
## 3. ACONDICIONAMIENTO SALIDA

### 3.1 CONTROL TIRAS LEDS



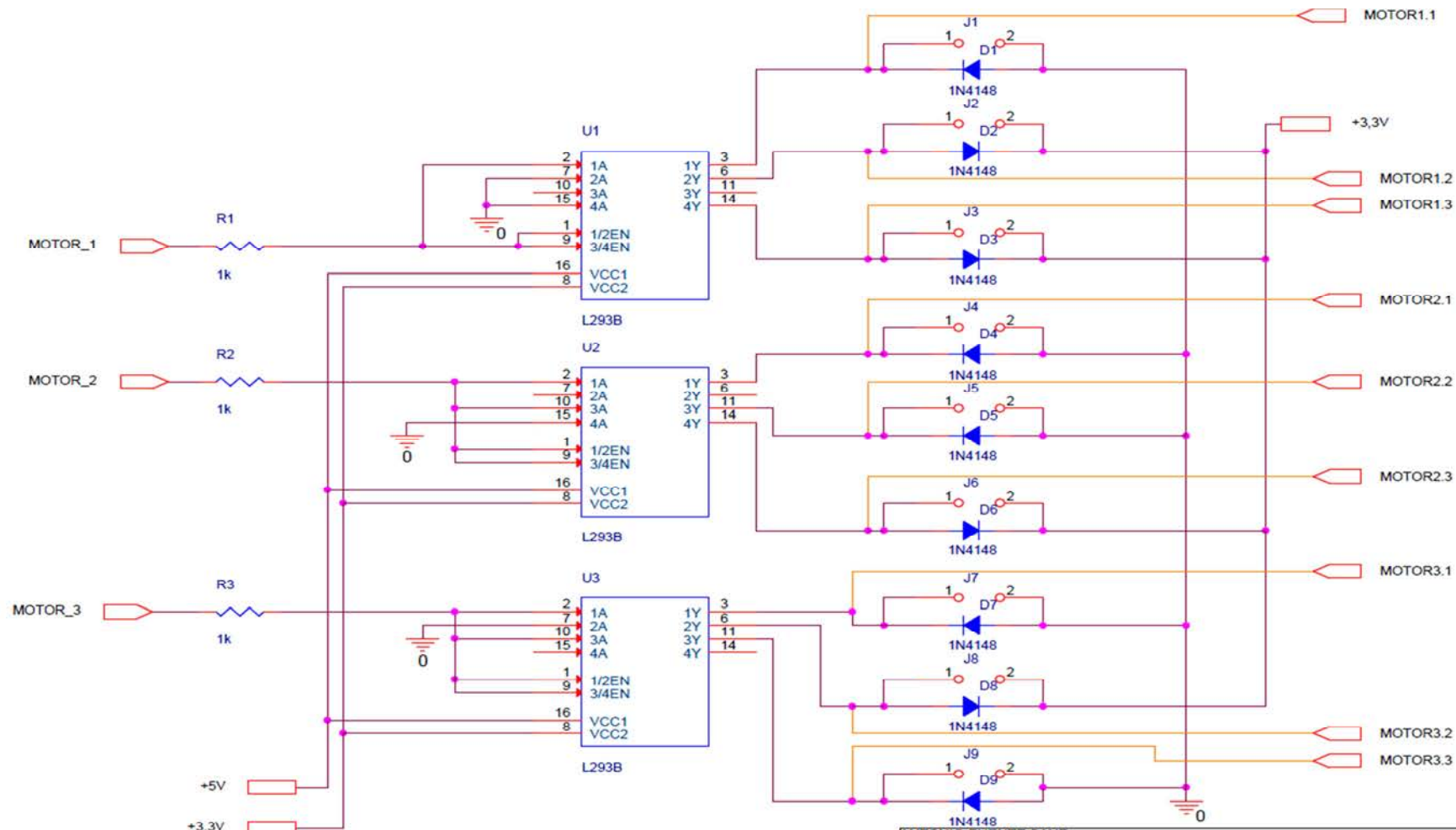
ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
CONTROL TIRA LEDS			
Size	Document	Number	Rev
A	<Doc>		<Rev>
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	1 of 2





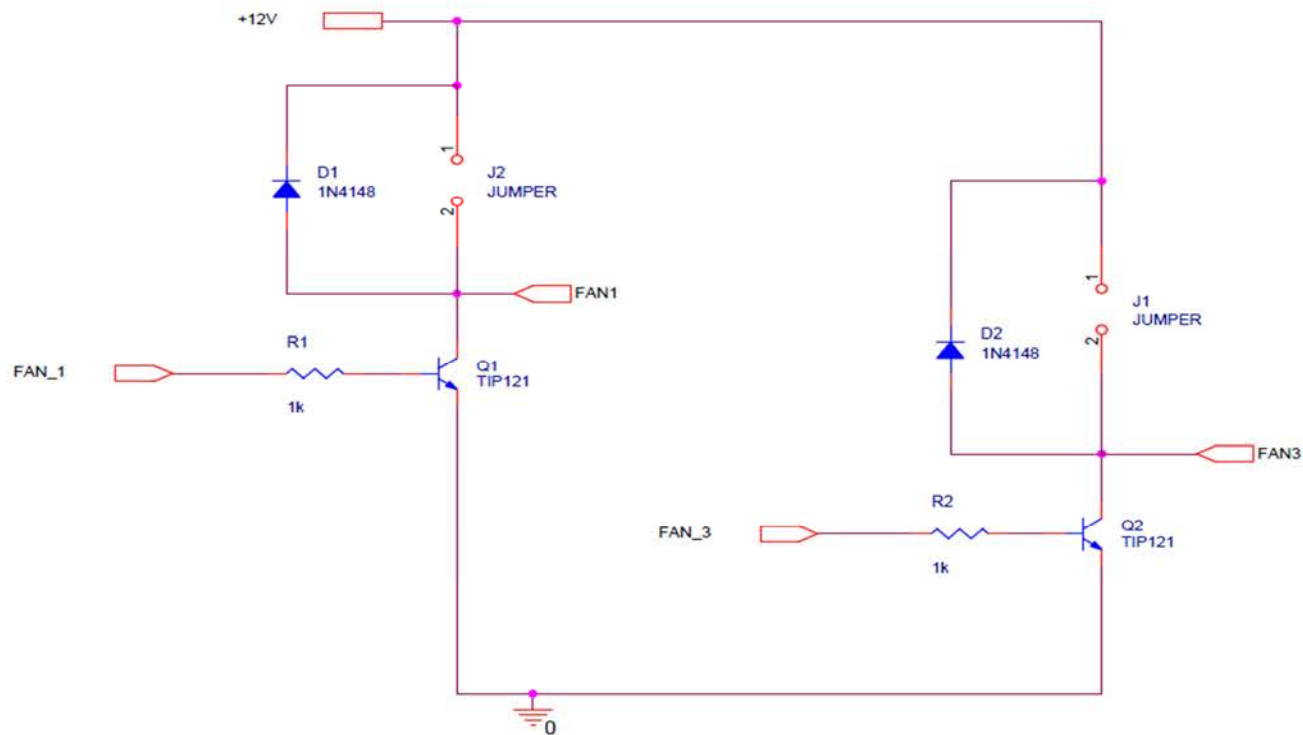
ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
CONTROL TIRA LEDS			
Size	Document	Number	Rev
A	<Doc>		
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	2 of 2

### 3.2 CONTROL MOTORES



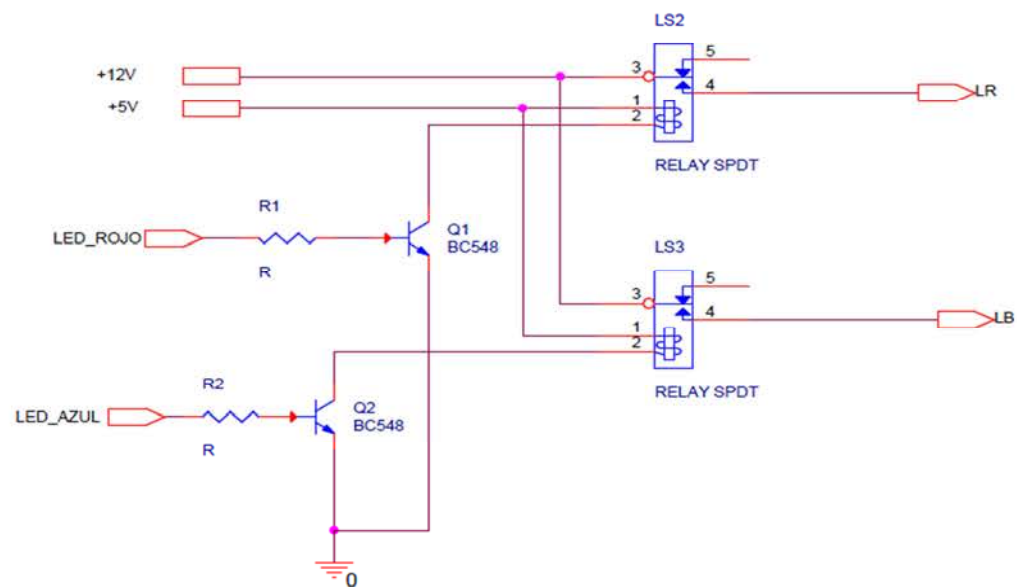
ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
CONTROL MOTORES			
Size	Document	Number	Rev
A	<Doc>		
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	1 of 1

## 3.3 CONTROL VENTILADORES



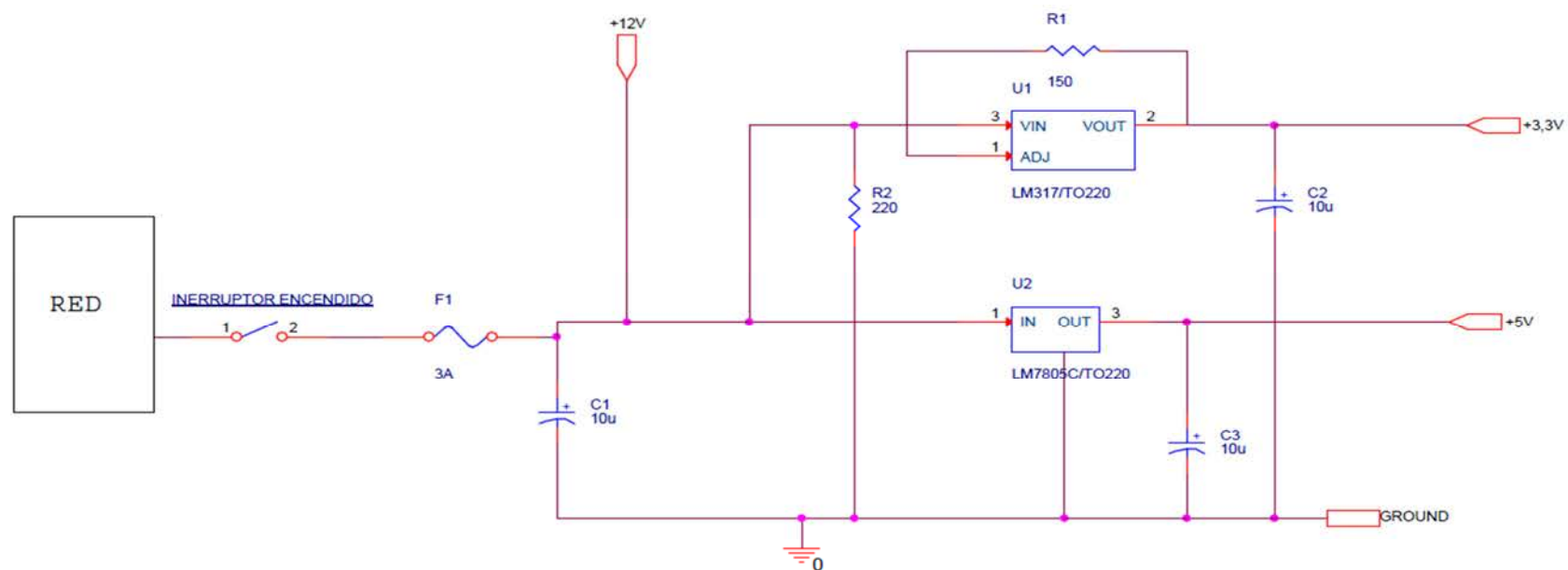
ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
CONTROL VENTILADORES			
Size	Document	Number	Rev
A	<Doc>		
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	1 of 1

## 3.4 CONTROL ILUMINACIÓN



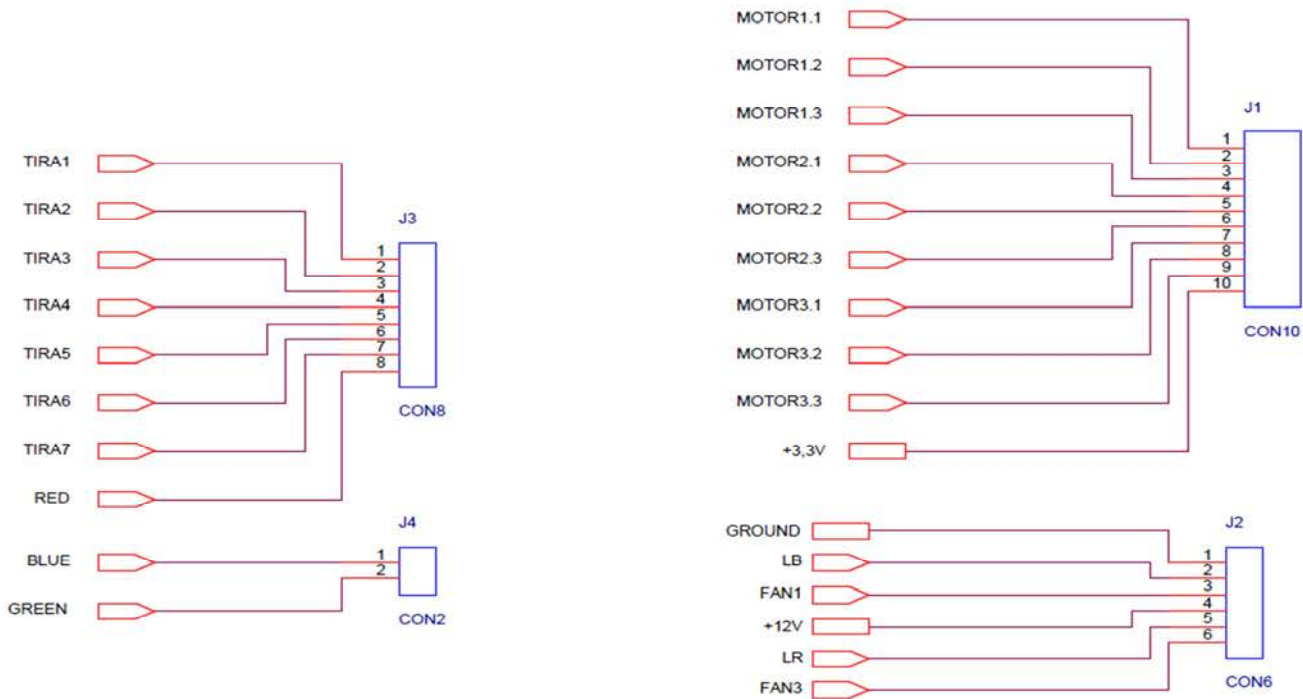
ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
CONTROL ILUMINACIÓN			
Size	Document	Number	Rev
A	<Doc>		
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	1 of 1

## 4. ALIMENTACIÓN



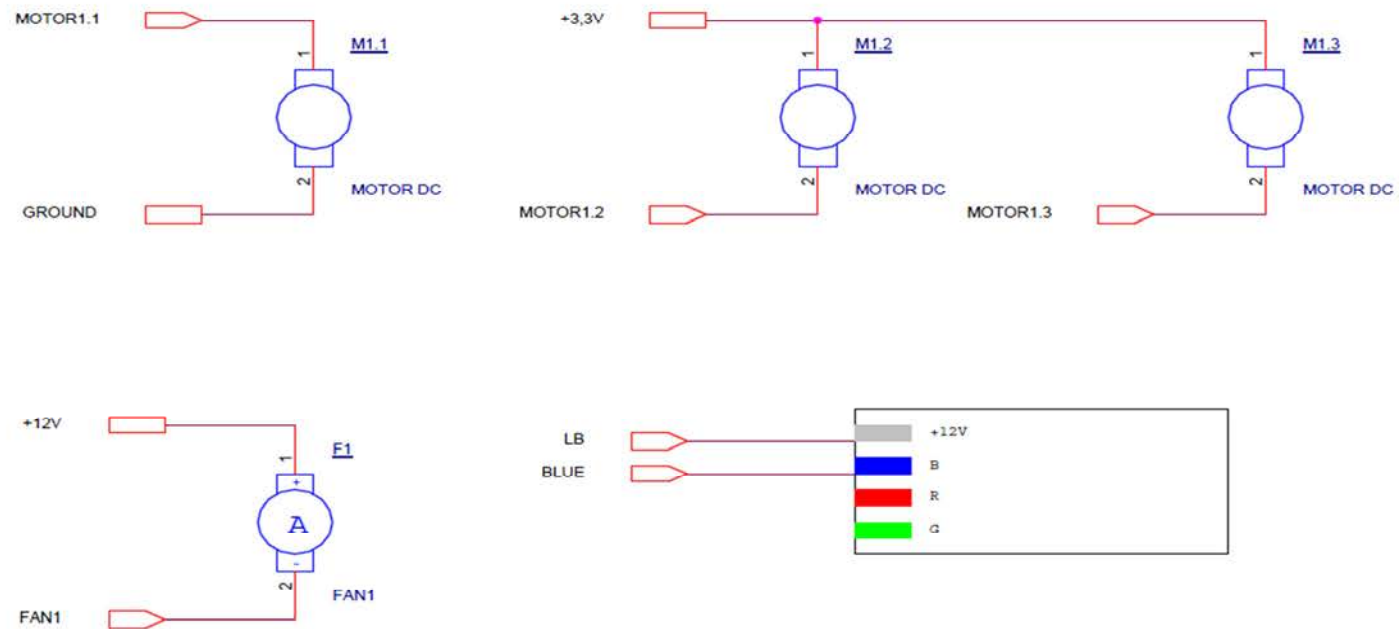
ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
ALIMENTACIÓN			
Size	Document	Number	Rev
A	<Doc>		
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	1 of 1

5. SALIDAS



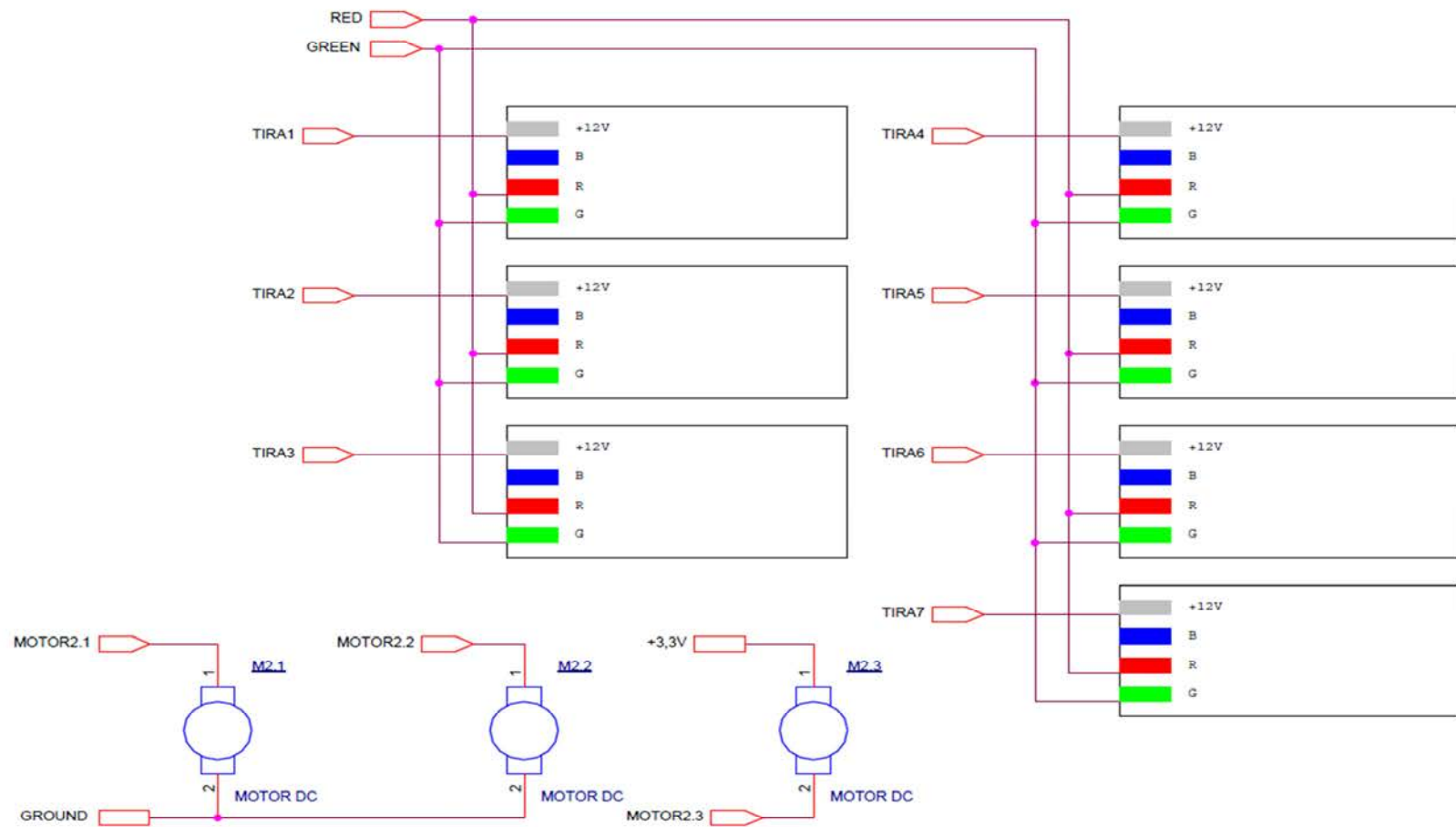
ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
SALIDAS			
Size	Document	Number	Rev
A			
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	1 of 1

## 6. TUBO AZUL



ANTONIO PUENTE SANZ		
Title		
TUBO AZUL		
Size	Document Number	Rev
A	<Doc>	
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet 1 of 1

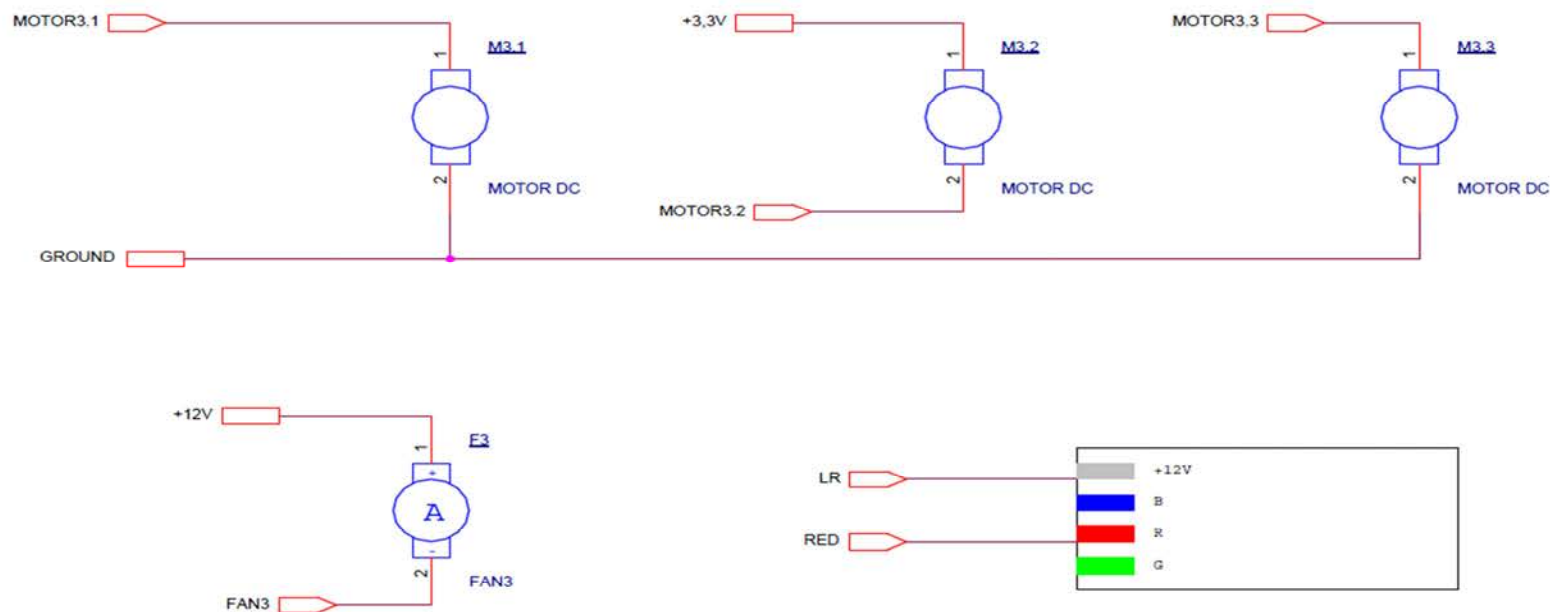
## 7. TUBO AMARILLO



ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
TUBO AMARILLO			
Size	Document	Number	Rev
A	<Doc>		
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	1 of 1



## 8. TUBO ROJO



ANTONIO PUENTE SANZ			
Title			
TUBO ROJO			
Size	Document	Number	Rev
A	<Doc>		
Date:	Friday, June 20, 2014	Sheet	1 of 1

## C. PROGRAMA MICROCONTROLADOR

```
const int tiempoAntirebote = 10;

int estadoBoton1, estadoBoton2, estadoBoton3;

int estadoBotonAnterior1 = 0;

int estadoBotonAnterior2 = 0;

int estadoBotonAnterior3 = 0;

int tubo, i, j;

int tiempo;

boolean estadoBotonTiempo;

const boolean tira2[] = {LOW,LOW,LOW,LOW,HIGH,HIGH,HIGH,HIGH};

const boolean tira1[] = {LOW,LOW,HIGH,HIGH,LOW,LOW,HIGH,HIGH};

const boolean tira0[] = {LOW,HIGH,LOW,HIGH,LOW,HIGH,LOW,HIGH};


boolean x, y, z;


void setup(){

  pinMode(2, OUTPUT); //COLOR G

  pinMode(3, OUTPUT); //COLOR R PWM

  pinMode(4, OUTPUT); //COLOR B PWM

  pinMode(5, OUTPUT); //VENTILADOR 1 PWM

  pinMode(6, OUTPUT); //VENTILADOR 2 PWM

  pinMode(7, OUTPUT); //CONROL TIRA 0

  pinMode(8, OUTPUT); //CONTROL TIRA 1

  pinMode(9, OUTPUT); //MOTOR 3 PWM

  pinMode(10, OUTPUT); //MOTOR 2 PWM

  pinMode(11, OUTPUT); //MOTOR 1 PWM

  pinMode(12, OUTPUT); //CONTROL TIRA 2

  pinMode(13, OUTPUT); //LED ROJO
```

```
pinMode(14, INPUT); //PULSADOR AZUL

pinMode(15, INPUT); //PULSADOR MARILLO

pinMode(16, INPUT); //PULSADOR ROJO

pinMode(17, INPUT); //SELECTOR TIEMPO

pinMode(18, OUTPUT); //LED AZUL

}

void loop() {

estadoBoton1 = digitalRead(14); //LEER PULSADORES

estadoBoton2 = digitalRead(15);

estadoBoton3 = digitalRead(16);

estadoBotonTiempo = digitalRead(17); //LEER SELECTOR TIEMPO

if(estadoBoton1!=estadoBotonAnterior1){ //SELECCIÓN DEL TUBO

  if(antirebote(14)) {

    tubo=1;}

  else tubo=0;}

else if(estadoBoton2!=estadoBotonAnterior2){

  if(antirebote(15)) {

    tubo=2;}

  else tubo=0;}

else if(estadoBoton3!=estadoBotonAnterior3){

  if(antirebote(16)) {

    tubo=3;}}
```

```
else tubo=0;}

else tubo=0;

tiempo=selector_tiempo(estadoBotonTiempo);

switch (tubo)      //SELECCIÓN PROCESO DEL TUBO
{
    case 0: //reposo todas las salidas desactivadas
        reposo();
        break;
    case 1: //TUBO AZUL
        tubON1(tiempo);
        reposo();
        break;
    case 2: //TUBO AMARILLO
        tubON2(tiempo);
        reposo();
        break;
    case 3: //TUBO ROJO
        tubON3(tiempo);
        reposo();
        break;
    default: //reposo
        reposo();
        break;
}
```

```
}
```

```
void reposo(){
```

```
    digitalWrite(2, LOW); //desactivamos todas las salidas
```

```
    digitalWrite(3, LOW);
```

```
    digitalWrite(4, LOW);
```

```
    digitalWrite(5, LOW);
```

```
    digitalWrite(6, LOW);
```

```
    digitalWrite(7, HIGH); //SALIDA 8 DEMULTIPLEXOR, PORQUE ESTA SIN CONEXIÓN
```

```
    digitalWrite(8, HIGH); //
```

```
    digitalWrite(9, LOW);
```

```
    digitalWrite(10, LOW);
```

```
    digitalWrite(11, LOW);
```

```
    digitalWrite(12, HIGH); //
```

```
    digitalWrite(13, LOW);
```

```
    digitalWrite(18, LOW);
```

```
}
```

```
void tubON1(int tiempo){          //motores, ventilador y led azul
```

```
int tiempo_ON;
```

```
    tiempo_ON=tiempo*10000;
```

```
    digitalWrite(11, HIGH); //MOTOR
```

```
    digitalWrite(5, HIGH); //VENTILADOR
```

```
    digitalWrite(3, HIGH); //COLOR LED
```

```
    digitalWrite(18, HIGH); //ENNCENDIDO LED
```

```
    delay(tiempo_ON);

    Motor(9, tiempo);

    if (tiempo==2){

        digitalWrite(11, HIGH);

        delay(5000);

    }

}

void tubON2(int tiempo){           //motores y tira de led

    int Ciclos, k;

    Ciclos=tiempo*4;    //se multiplica x4 para obtener los 20s o 40s

    for(k=0; k<Ciclos; k++)

    {

        digitalWrite(10, HIGH); //MOTOR, CUANDO TENGA LOS MOTORES HACER PWM

        digitalWrite(3, HIGH); //ASIGNAR COLOR AMARILLO

        digitalWrite(4, HIGH);

        for(i=0; i<7; i++){ //ASIGNAR TIRA REALIZANDO EFECTO SUBIDA

            x=tira0[i];

            y=tira1[i];

            z=tira2[i];

            digitalWrite(7, x); //elección de 1 de las 7 tiras de led

            digitalWrite(8, y);

            digitalWrite(12, z);

            delay(350);}

    }
```

```
for(j=7; j>=0; j--){ //ASIGNAR TIRA REALIZANDO EFECTO BAJADA

x=tira0[j];

y=tira1[j];

z=tira2[j];

digitalWrite(7, x);

digitalWrite(8, y);

digitalWrite(12, z);

delay(350);}

}

if (tiempo==2){

for(i=0; i<7; i++){ //Asignar la tira

x=tira0[i];

y=tira1[i];

z=tira2[i];

digitalWrite(7, x);

digitalWrite(8, y);

digitalWrite(12, z);

delay(350);}

digitalWrite(2, LOW); //Asignar el color

digitalWrite(3, LOW);

digitalWrite(4, LOW);

for(j=7; j>=0; j--){ //Asignar la tira

x=tira0[j];

y=tira1[j];
```

```
        z=tira2[j];

        digitalWrite(7, x);

        digitalWrite(8, y);

        digitalWrite(12, z);

        delay(350);}

    }

}

void tubON3(int tiempo){           //motores, ventilador y led rojo

    int tiempo_ON;

    tiempo_ON=10000*tiempo;

    digitalWrite(9, HIGH); //MOTOR

    digitalWrite(6, HIGH); //VENTILADOR

    digitalWrite(13, HIGH); //LED ROJO

    digitalWrite(3, HIGH); //COLOR ROJO

    delay(tiempo_ON);

    Motor(9, tiempo);

    if (tiempo==2){

        digitalWrite(9, HIGH);

        delay(5000);}

}
```



### //FUNCIÓN MOTOR

```
void Motor (int pin, int selector_tiempo){  //

int valor, a, i;

a=selector_tiempo*2;

for (i=0; i<a; i++){  //aumenta la corriente de los motores progresivamente
    for (valor=0; valor<=255; valor++){
        analogWrite(pin, valor);
        delay(10);}
    for (valor=255; valor>=0; valor--){
        analogWrite(pin, valor);  //disminuye la corriente de los motores
        delay(10);}
    }
}
```

### //FUNCIÓN SELECTOR DE TIEMPO

```
int selector_tiempo (boolean sel_tiempo){

int tiempo;

if (sel_tiempo == LOW)
    tiempo=1;  //Devuelve el numero entero, para poder hacer mejor los acoples de tiempo
else
    tiempo=2;

return(tiempo);

}
```

### //FUNCIÓN ANTIRREBOTE

```
boolean antirebote (int pin){  
  
    int contador=0;  
  
    boolean estado; //guarda el estado del botón  
  
    boolean estadoAnterior; //guarda el último estado del botón  
  
  
    do {  
  
        estado = digitalRead(pin);  
  
        if(estado != estadoAnterior){ //comparamos el estado actual con el anterior  
  
            contador=0;           //iniciamos el contador  
  
            estadoAnterior = estado;  
  
        }  
  
        else {  
  
            contador = contador + 1;  
  
        }  
  
        delay(1);  
  
    } while(contador < tiempoAntirebote);  
  
  
    return estado;  
  
}
```

### D. CALCULOS

#### 1. CALCULO CONSUMO SISTEMA

El sistema puede consumir como máximo 3A que los delimita la fuente de alimentación.

Se han medido las corrientes de todos los dispositivos en régimen permanente:

Consumos fijos:

- Iluminación pulsadores:  $I_{\text{PULSADORES}} = 0.1 * 3 = 0.3A$
- Ventilador mando:  $I_{\text{VENTILADOR}} = 0.17A$

Consumos variables:

- $I_{\text{RELE}} = 0.1A$
- $I_{\text{TIRA LED}} = 0.08A$
- $I_{\text{FAN}} = 0.55A$
- $I_{\text{MOTOR}} = 0.33A$
- $I_{\text{OTROS}} = I_{\text{INTEGRADOS}} + I_{\mu C} = 0.3A$

Máximo consumo posible:

El sistema consumirá mayor corriente cuando estén activados los T1 y T3, viene determinado por:

$$\begin{aligned} I_{\text{TOTAL}} &= I_{\text{PULSADORES}} + I_{\text{VENTILADOR}} + I_{\text{RELE}} + I_{\text{TIRA LED}} + I_{\text{FAN}} + I_{\text{MOTOR}} * 3 + I_{\text{OTROS}} \\ &= 0.3 + 0.17 + 0.1 + 0.08 + 0.55 + 3 * 0.33 + 0.3 = 2,5A \end{aligned}$$

## 2. CALCULO RESISTENCIAS

- LM317T

Para obtener el valor de R1 y R2 (véase figura x), se calculan de la siguiente manera [21]:

$$I_{ADJ} \approx 0 \quad V_{REF} = 1,25V$$

$$I_{R1} = I_{R2}$$

$$V_{REF}/R_1 = (V_{OUT} - V_{REF})/R_2$$

$$R_2 = (V_{OUT} - V_{REF}) * R_1 / V_{REF}$$

Fijamos el valor de R1= 150Ω, finalmente se obtiene R2:

$$R_2 = (3,3 - 1.25) * 150 / 1.25 = 246\Omega$$

Una vez calcula la resistencia se escoge una resistencia normalizada, con un valor cercano. Se ha escogido una R<sub>2</sub>=220Ω

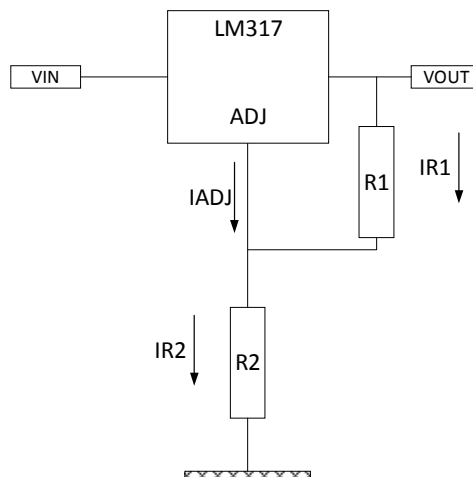


Figura 88

Se ha comprobado los cálculos con un software que calcula los valores de la resistencia [13].

Output Voltage 3.3 volts	R1 resistor 150 ohms	R2 resistor 246 ohms Calculate
R1 resistor 150 ohms	R2 resistor 220 ohms	Output Voltage 3.05 volts Calculate

Figura 89

- LED

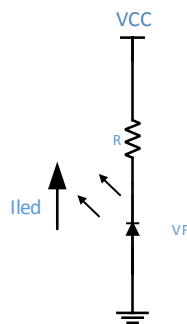
Las resistencias elegidas para cuando se emplean diodos están determinadas de la siguiente manera (Figura 84):

Los leds usados son de 3mm y color verde, poseen los siguientes datos:

$$V_f=2,4V \quad I_{led}=20mA$$

$$R = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} = \frac{5 - 2,4}{0.02} = 130\Omega$$

Finalmente se elige una resistencia normalizada de 150Ω.



Se ha comprobado los cálculos con un software que calcula los valores de la resistencia [14].

The image shows a software interface for calculating LED resistor values. On the left is a circuit diagram of an LED connected to a power source (+) through a resistor. Labels include 'Alimentación' (red), 'Resistencia' (green), 'Corriente' (blue), and 'Tensión en el LED' (green). On the right is a form with the following fields and values:

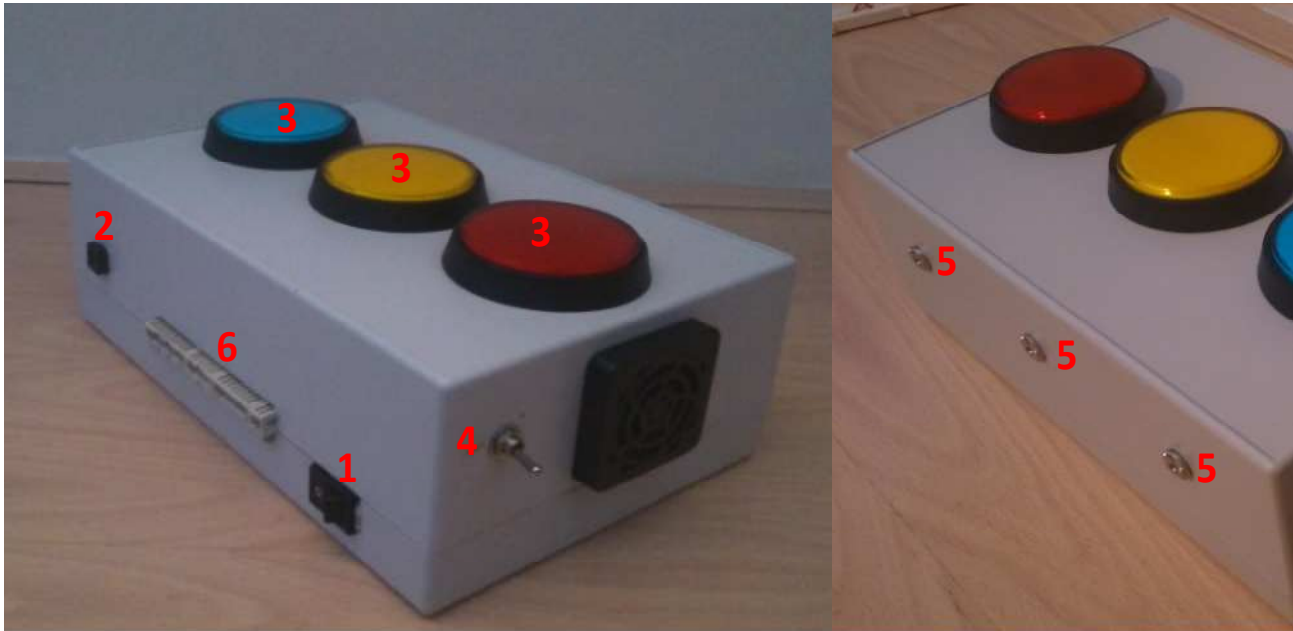
- Tensión de alimentación: 5 VOLTIOS
- Voltaje sobre el LED: 2.4 VOLTIOS
- Corriente deseada por el Led: 20 MILIAMPERIOS
- [Pulse para calcular]
- Resistencia limitadora calculada: 130 OHMIOS
- Valor normalizado: 150 Ohm OHMIOS
- Wattios de la resistencia..: 0.052 VATIOS (W)
- Margen superior de potencia: 0.087 VATIOS (W)

Figura 90 Cálculo resistencia LEDS

### E. GUÍA USUARIO

#### 1. INTRODUCCIÓN

El sistema consta de dos partes, la primera de ellas consta de un mando que se compone los siguientes elementos.



#### MANDO

1. **Botón encendido**
2. **Conector alimentación**
3. **Pulsadores luminosos**
4. **Selector tiempo**
5. **Conectores Jack**
6. **Conector salida**

La segunda parte la componen 3 tubos que lo componen los siguientes elementos que se muestran a continuación.



### TUBOS

Tubo azul:

- 7. Ventilador
- 8. Filtro
- 9. Tira de leds azul
- 10. Motores
- 11. Conector

Tubo amarillo:

- 12. Tira de leds
- 13. Motores
- 14. Conector

Tubo rojo:

- 15. Ventilador
- 16. Filtro
- 17. Tira de leds rojo
- 18. Motores
- 19. Conector

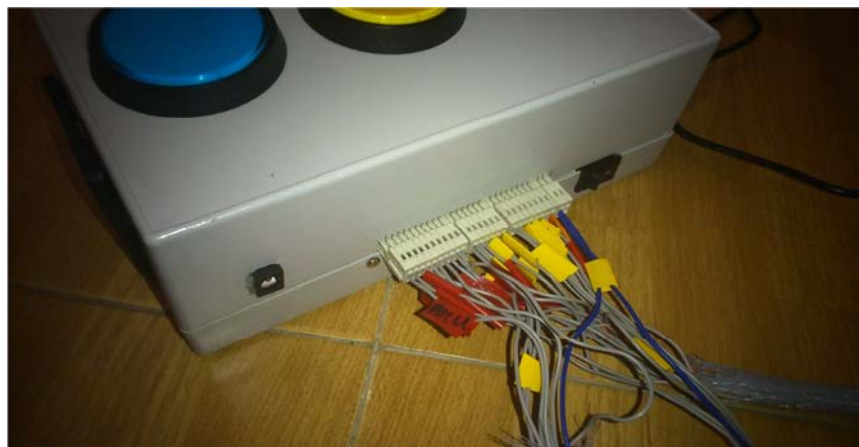
La conexión de ambas partes se realiza mediante las mangueras que se observan a continuación.



**MANGUERAS**

### 2. CONEXIONADO

En primer lugar se conectará la manguera al mando. Se conectará el extremo de la manguera donde se bifurcan las 3 mangueras.



**CONECTOR MANDO**

En segundo lugar se conectarán cada manguera individual a cada tubo haciendo coincidir cada conector con su contrario. Cada manguera viene identificada con una etiqueta.



**CONECTOR CAJA**



Los motores se conectarán a los conectores de la caja, conexionando al borne indicado. Los cables de los motores están identificados con etiquetas.

### 3. FUNCIONAMIENTO

Para comenzar el funcionamiento del dispositivo, se conecta el cable de alimentación a la red. Y se enciende el interruptor de encendido (1). El dispositivo ya estará listo para su uso.

El funcionamiento principal consiste en activar los tubos mediante los pulsadores luminosos (3). Se describirán los 3 procesos que se llevarán a cabo.

#### **Tubo azul**

Este tubo se activa cuando se pulsa el pulsador azul, activando los motores, ventilador y tira de leds azul, creando una vibración, visualización de confeti suspendido en el aire e iluminación azul.

#### **Tubo amarillo**

Este tubo se activa cuando se pulsa el pulsador amarillo, activando los motores y las tiras de leds amarilla, creando una vibración y un efecto de iluminación de subida y bajada de las tiras de leds.

#### **Tubo rojo**

Este tubo se activa cuando se pulsa el pulsador rojo, activando los motores, ventilador y tira de leds roja, creando una vibración, visualización de confeti suspendido en el aire e iluminación roja.

El tiempo de ejecución de los procesos depende de la posición en que se encuentre el interruptor de palanca (selector de tiempo). Estando en la posición '0' corresponden 20 segundos y en la posición '1', 45 segundos.

### 4. COMPROBACIONES EN CASO DE AVERÍA

En caso de avería de algún componente electrónico se puede llegar a sustituir, debido a que la gran mayoría están montados sobre zócalos.

1. Se comprueba que el sistema esta alimentado a la red, si se enciende un ventilador interno que tiene el mando y se iluminan los pulsadores, en este caso la alimentación de 12V sería correcta. Si no se encienden es a causa de que el fusible se haya fundido (por superar 3A, en tal caso ha de sustituirse) o que la fuente de alimentación este defectuosa (se puede comprobar cambiando de fuente de iguales características).
2. Comprobación de alimentaciones del sistema 3,3V y 5V: se dispone de varios pines identificados donde se puede comprobar el voltaje con un polímetro. Si las alimentaciones no

coinciden puede ser debido a que los reguladores estén defectuosos, en cuyo caso habrá que cambiarlos.

3. La no activación de los motores puede deberse a que el integrado L293B este defectuoso o haya un problema del microcontrolador, en caso de que los puntos 1 y 2 sean correctos.
4. La no activación de los ventiladores es a causa de que el TIP 121 este averiado o haya un problema del microcontrolador, en caso de que los puntos 1 y 2 sean correctos.
5. Si la iluminación de las tiras de leds azul y roja no iluminan, es debido a que el relé este defectuoso o el transistor que activa la bobina del relé no funcione, de nuevo en caso de que los puntos 1 y 2 sean correctos.
6. Por último, si en el tubo amarillo no se iluminan las tiras de leds puede ser a causa de los motivos explicados en el punto 5. Si se encienden los leds que están colocados al lado de los relés en la placa electrónica de control, el problema será que los relés estén defectuosos. Si estos no se encienden tampoco, el problema estará en la etapa digital o microcontrolador.
7. Si se ha comprobado que los dispositivos electrónicos funcionan correctamente, el fallo puede estar originado por los actuadores eléctricos, que se han podido averiar por el uso.